



Huses beskyttende virkning ved luftforureningsuheld

Roed, Jørn; Gjørup, H.L.; Prip, Henrik

Publication date:
1985

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Roed, J., Gjørup, H. L., & Prip, H. (1985). *Huses beskyttende virkning ved luftforureningsuheld*. Risø National Laboratory. Risø-M No. 2484

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

HUSES BESKYTTENDE VIRKNING VED LUFTFORURENINGSUHELD

J. Roed, H.L. Gjørup og H. Prip

Resumé. I en forureningssituation vil den tidsintegrerede luftforurenings koncentration inde og ude være forskellig. Forholdet: den tidsintegrerede koncentration inde/den tidsintegrerede koncentration ude, er blevet undersøgt i 17 danske boliger.

I 15 af de 17 boliger blev forholdet fundet for en række enkeltrum i boligen med lukkede indre døre. I de sidste to boliger var de indre døre åbne. Samtlige målinger er foretaget med lukkede vinduer og yderdøre.

Det har været hensigtsmæssigt at opdele de forurenede stoffer i tre kategorier:

1. ikke reaktive gasser (f.eks. ædelgasser)
2. ikke reaktive aerosoler
3. reaktive stoffer (f.eks. elementært jod)

Ikke reaktive gassers inde/ude-forhold er undersøgt ved brug af en SP_6 tracer.

(fortsat)

Oktober 1985

Forsøgsanlæg Risø, DK 4000 Roskilde, Danmark

Ikke reaktive partiklers inde/ude forhold er undersøgt ved hjælp af ^7Be mærkede partikler, der er naturligt forekommende i atmosfæren, samt af ^{103}Ru mærkede partikler stammende fra kinetiske kernevåbensprængninger i atmosfæren.

For reaktive stoffer er forholdet ikke undersøgt ved målinger, men ud fra den relevante litteratur om emnet, samt sammenligninger mellem reaktive stoffer og ikke reaktive partikler, er det muligt at finde maksimalværdier for forholdet.

Inde/ude-forholdets afhængighed af den hastighed, hvormed luften i huset udskiftes med den omgivende luft, er blevet undersøgt, og der er opstillet et udtryk for denne sammenhæng for boligens opholdsrum.

Endvidere er den dosisreducerende virkning af at lade en støvsuger være tændt i opholdsrummet i den tid, man opholder sig indendøre, samt virkningen af at lufte ud kort efter at forureningsskyen har passeret undersøgt.

Undersøgelserne viste, at man ved at opholde sig indendøre i et gennemsnitligt opholdsrum med lukkede vinduer og døre får reduceret inhalationsdosis fra aerosoler med en faktor ca. 3.

Ved at lade en støvsuger være tændt i opholdsrummet i den tid man er der vil reduktionsfaktor stige til ca. 9.

Udlufter man en time efter en skypassage af tre timers varighed vil de to nævnte reduktionsfaktorer stige til henholdsvis ca. 6 og ca. 12.

Inhalationsdosis, der stammer fra ikke deponerende gasser kan kun reduceres ved en udluftning efter skypassage. Under de foran nævnte betingelser vil reduktionen være omkring en faktor 2.

**INIS-Descriptors: AEROSOLS; AIR CLEANING; AIR POLLUTION;
BERYLLIUM 7; DEPOSITION; FILTRATION; HOUSES; INDOOR AIR
POLLUTION; INHALATION; IODINE; PARTICLES; RARE GASES;
REMEDIAL ACTION; RUTHENIUM 103; SHIELDING;**

ISBN 87-550-1171-3

ISSN 0418-6435

Risø Repro 1985

INDHOLD	side
1. INDLEDNING	9
1.1. Formål	9
1.2. Definitioner.....	9
2. IKKE REAKTIVE GASSER	10
2.1. Depositionshastighed og filtervirkning ...	10
2.2. Luftskiftemodel	10
2.2.1. Trerumsmodel	11
2.2.2. n-rumsmodel	13
2.2.3. Løsning af modellens lignings- system	16
2.3. Valg af metode til bestemmelse af model- lens koefficientmatrix, B ud fra målinger.	20
2.3.1. Vurdering af metode 1	20
2.3.2. Vurdering af metode 2	28
2.4. Målemetoden	33
2.4.1. Fremgangsmåde og apparatur	33
2.4.2. Bestemmelse af transportmatrix \bar{B} ..	34
2.5. Model til beskrivelse af indtrængen af gas i huse	39
2.5.1. Eksempel på indtrængen af ikke-re- aktive gasser i huse	40
3. IKKE REAKTIVE AEROSOLER	43
3.1. Model for aerosolkoncentrationsændringer, ude-inde	43
3.2. Modelændring p.g.a. målemetode	43
3.3. Modellens brug i målesituationen	44
3.3.1. Eksempel på anvendelse af modellen.	48
4. REAKTIVE STOPPER	50
4.1. Den filtrerende virkning for reaktive stoffer	50
4.2. Indendørs deposition af reaktive stoffer..	51
4.3. Sammenligning af reaktive stoffer med ikke reaktive partikler	51

	side
5. MÅLINGERNE	52
5.1. Introduktion til målinger	52
5.2. Målsætning	53
5.3. Luftskiftemålinger	53
5.4. Tracere i partikelkoncentrationsmålingerne	55
5.5. Partikelkoncentrationsmålingen	55
5.5.1. Partikelmængdemålingerne	56
5.6. Usikkerheden på målingerne	56
5.7. Målingernes omfang	57
6. PARTIKELSTØRRELSEN	60
6.1. Partikelstørrelsens betydning	60
6.2. Partikelstørrelsesspektret	60
6.3. Partikelstørrelsen ved udslip fra kerne- kraftværker	60
6.4. Størrelsen af ruthenium-partikler	63
6.5. Størrelsen af beryllium-partikler	63
6.6. Partikelstørrelsens betydning for trans- ferfaktoren	63
7. MEKANISK RENSNING AF INDELUFT	67
7.1. Muligheder	67
7.2. Model for støvsugervirkning	67
7.3. Simpelt eksempel på støvsugers virkning ..	73
7.4. Måling af støvsugers filtereffektivitet ..	74
7.4.1. Måleopstilling	75
8. OVERSIGT OVER RELEVANTE UNDERSØGELSER	77
8.1. Indledning	77
8.2. Partikler	78
8.2.1. Hartford Connecticut-under- søgelsen	78
8.2.2. Pittsburgh-undersøgelsen	80
8.3. Reaktive stoffer	82
8.3.1. Windscale-undersøgelsen	82
8.3.2. Rotterdam-undersøgelsen	83

9.	SAMMENSETNINGEN AF ET RADIOAKTIVT UDSLIP	85
9.1.	Reaktive og ikke-reaktive stoffer	85
9.2.	Betydningen af filter på et kernekraft- værk (FILTRA)	87
10.	RESULTATER, DISKUSSIONER OG KONKLUSIONER	88
10.1.	Den statiske overføringsfaktor	88
10.1.1.	Overføringsfaktor for ikke reaktive partikler for de enkelte rum i boligen	88
10.1.2.	Sammenligning af overføringsfaktoren for ikke reaktive partikler for opholdsrum og for birum .	88
10.1.3.	Overføringsfaktoren for ikke reaktive partikler for boligen som helhed	92
10.1.4.	Overføringsfaktorens afhængighed af vejrforholdene (ikke reaktive partikler)	92
10.1.5.	Overføringsfaktorens afhængighed af luftskiftehastigheden for ikke reaktive partikler	95
10.1.6.	Overføringsfaktor for reaktive stoffer	95
10.1.7.	Overføringsfaktoren for en ikke reaktive luftarter	97
10.2.	Den dynamiske overføringsfaktor	97
10.2.1.	Overføringsfaktoren for en ikke reaktiv gas ved udluftning efter skypassage	97
10.2.2.	Overføringsfaktoren for partikler ved udluftning efter skypassage .	102
10.2.3.	Overføringsfaktor for et reaktiv stof efter udluftning	102
10.3.	Reduktion af det indendørs eksponering- integral ved brug af husholdningsstøvsuger	106

10.4. Endelig konklusion	108
ACKNOWLEDGMENTS.....	110
LITTERATUR	111
ENGELSK RESUME	113
APPENDIKS. Beskrivelse af og tabeller vedrørende de enkelte boliger	115

1. INDLEDNING

1.1. Formål

I modeller, der benyttes til beregning af dosis til personer, der opholder sig indendøre i den periode, hvor en forureningssky passerer og i timerne efter, antages det ofte, at koncentrationen af gasser og aerosoler i indeluften er den samme som koncentrationen i udeluften, således at indåndingsdosis er uafhængig af, om personerne opholder sig ude eller inde. Denne antagelse skyldes næppe, at man ikke er bekendt med, at der kan opnås en ændring af indåndingsdosis ved ophold indendøre, men snarere, at der hidtil ikke har foreligget overbevisende kvantitative data til beskrivelse af denne ændring. Formålet med de i rapporten beskrevne målinger er at fremskaffe sådanne data.

I undersøgelsen har vi fundet det formålstjenligt at dele luftforureningens bestanddele op på følgende måde og behandle dem hver for sig:

- (1) ikke reaktive gasser,
- (2) ikke reaktive aerosoler og
- (3) reaktive stoffer (såvel gasser som aerosoler),

Som eksempel på de tre hovedtyper kan nævnes: krypton, cæsium-partikler og jod-dampe.

1.2. Definitioner

Den volumetriske koncentration i luft benævnes N . Eksponeeringsintegralet, E , er den tidsintegrerede volumetriske koncentration,

$$E = \int N(t) dt$$

Den proces, at en forurening sætter sig på overflader, betegnes deposition. Et kvantitativt mål for den villighed, hvormed processen foregår kan udtrykkes ved depositions-hastigheden V_d , der er defineret som forholdet mellem den stofmængde, der er deponeret pr. arealenhed i et bestemt tidsrum, og det tilhørende eksponeringsintegral målt i en vis afstand fra overfladen.

Luftskiftehastigheden, λ , er defineret som den del af et rums luftvolumen, der pr. tidsenhed udskiftes med omgivelserne.

Endelig kan der defineres en overføringsfaktor for eksponeringsintegralet, $D_{oi}(E)$ som angiver forholdet mellem eksponeringsintegralet uden for en bygning og det tilsvarende eksponeringsintegral inde i bygningen målt i rummet i.

2. IKKE REAKTIVE GASSER.

2.1. Depositionshastighed og filtervirkning

Depositionshastigheder for ikke reaktive gasser er særdeles lav. Atkins (67) har således rapporteret depositions-hastigheder af størrelsesordenen 10^{-4} cm/s for metyljodid (CH_3I), der er en ikke reaktiv gas, medens ædle gasser, som f.eks. Krypton, har endnu lavere depositions-hastighed.

Ud fra denne erkendelse kan det antages, at såvel deposition som filtervirkningen kan negligeres for ikke reaktive gasser.

2.2. Luftskiftemodel.

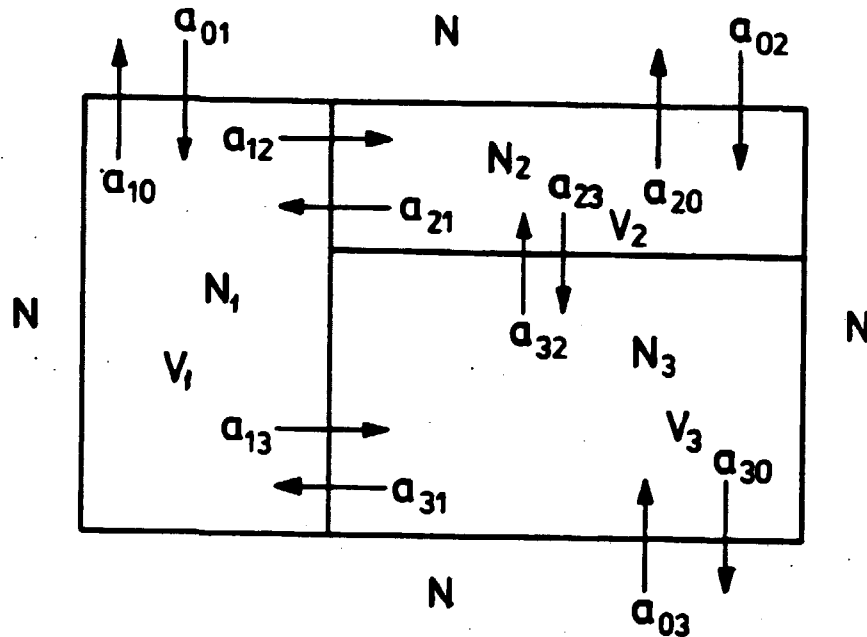
Under den nævnte forudsætning kan der opstille en model for luftskiftehastigheden af en ikke reaktiv gas, der altså i denne sammenhæng er at betragte som en ideel gas.

Som udgangspunktet antages, at der inde i et hus med lukkede døre er tilført en koncentration af en ideel sporgas, hvis koncentration i udeluften er nul. Udeluften antages endvidere at udgøre et uendeligt stort reservoir, således at kon-

centrationen i udeluften, selv om den bliver tilført sporgas fra huset, til stadighed er nul.

For at gøre opstillingen af modellen så overskuelig som muligt, tager vi udgangspunkt i et hus med tre rum og udvider senere til et hus med n -rum.

2.2.1. Trerumsmodel



N er koncentrationen af sporgas udendørs.

N_1 , N_2 og N_3 er koncentrationen af sporgas i henholdsvis rum 1, 2 og 3.

V_1 , V_2 og V_3 er de tre rums volumener.

a_{10} er forholdet mellem det totale luftvolumen, som pr. tidsenhed bevæger sig fra rum 1, og rummets volumen V_1 , medens a_{20} og a_{30} er de tilsvarende forhold vedrørende henholdsvis rum 2 og rum 3.

a_{12} er forholdet mellem det luftvolumen, som pr tidsenhed bevæger sig fra rum 1 til rum 2, og voluminet af rum 1, V_1 ; a_{21} er forholdet mellem det luftvolumen, som pr tidsenhed bevæger sig fra rum 2 til rum 1, og voluminet af rum 2, V_2 . Tilsvarende defineres a_{13} , a_{31} , a_{23} og a_{32} .

a_{01} er forholdet mellem det volumen der bevæger sig fra det fri ind i rum 1, og voluminet af rum 1, medens a_{02} og a_{03} er de tilsvarende forhold for henholdsvis rum 2 og rum 3.

Koncentrationsændringerne af sporgassen i de forskellige rum kan nu angives ved følgende ligninger:

$$\frac{dN_1}{dt} = -(a_{10} + a_{12} + a_{13})N_1 + \frac{a_{21} V_2}{V_1} N_2 + \frac{a_{31} V_3}{V_1} N_3 \quad 2.1.1.1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = -(a_{20} + a_{21} + a_{23})N_2 + \frac{a_{12} V_1}{V_2} N_1 + \frac{a_{32} V_3}{V_2} N_3 \quad 2.2.1.2$$

$$\frac{dN_3}{dt} = -(a_{30} + a_{31} + a_{32})N_3 + \frac{a_{13} V_1}{V_3} N_1 + \frac{a_{23} V_2}{V_3} N_2 \quad 2.2.1.3$$

idet ændringen af koncentrationen pr. tidsenhed kan udtrykkes, som den mængde af sporgassen, der pr. tidsenhed tilføres fra naborummene divideret med det betragtede rums volumen (højre sidernes sidste to led) minus den mængde af sporgassen der lækker ud af rummet divideret med rummets volumen (højre sidernes første led).

Der indføres nye konstanter og ligningerne arrangeres om, idet følgende substitutioner anvendes:

$$-(a_{10} + a_{12} + a_{13}) = b_{11} ,$$

$$\frac{a_{21} V_2}{V_1} = b_{21} ,$$

$$\frac{a_{32} V_3}{V_2} = b_{32} , \text{ o.s.v.}$$

herved fås

$$\frac{dN_1}{dt} = b_{11} \times N_1 + b_{21} \times N_2 + b_{31} \times N_3 \quad 2.2.1.4$$

$$\frac{dN_2}{dt} = b_{12} \times N_1 + b_{22} \times N_2 + b_{32} \times N_3 \quad 2.2.1.5$$

$$\frac{dN_3}{dt} = b_{13} \times N_1 + b_{23} \times N_2 + b_{33} \times N_3 \quad 2.2.1.6$$

2.2.2. n-rumsmodel

Ligningerne (2.2.1.4), (2.2.1.5) og (2.2.1.6) udgør et ligningssystem der kan skrives på vektor-matrix-form. Udvider vi til n rum fås:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} N_1 \\ \vdots \\ N_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_n \end{bmatrix} \quad 2.2.2.1$$

der kan skrives som

$$\frac{d\bar{N}}{dt} = \bar{B} \cdot \bar{N}. \quad 2.2.2.2$$

Løsninger til dette ligningssystem kan formelt skrives

$$\bar{N} = e^{\bar{B} \cdot t} \quad 2.2.2.3$$

Løsningen er mest overskuelig, hvis \bar{B} er en diagonalmatrix.

Vi omskriver derfor ligningen således, at der på \bar{B} 's plads kommer til at indgå en diagonalmatrix;

Vi indfører følgende substitution

$$\bar{N} = \bar{C} \cdot \bar{M}, \quad 2.2.2.4$$

hvor \bar{C} er en matrix med konstante elementer.

Indsættes udtrykket (2.2.2.4) i ligning (2.2.2.2) fås

$$\frac{d(\bar{C} \cdot \bar{M})}{dt} = \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{M}, \quad 2.2.2.5$$

der, da \bar{C} er en konstant matrix, kan skrives

$$\bar{C} \frac{d\bar{M}}{dt} = \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{M}$$

Herefter multipliceres på begge sider af lighedstegnet med den til \bar{C} reciproke matrix \bar{C}^{-1}

$$\bar{C}^{-1} \cdot \bar{C} \cdot \frac{d\bar{M}}{dt} = \bar{C}^{-1} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{M} \Rightarrow$$

$$\frac{d\bar{M}}{dt} = \bar{C}^{-1} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \cdot \bar{M} = \bar{\Lambda} \cdot \bar{M}, \quad 2.2.2.6$$

hvor $\bar{\Lambda} \equiv \bar{C}^{-1} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}$

herved fremkommer et ligningssystem af samme type som det oprindelige.

Vor opgave bliver at bestemme \bar{C} således, at $\bar{C}^{-1} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \equiv \bar{\Lambda}$ bliver en diagonalmatrix d.v.s. at

$$\bar{C}^{-1} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} = \begin{pmatrix} \lambda_1 & . & . & . & 0 \\ 0 & \lambda_2 & . & . & . \\ 0 & 0 & . & . & . \\ . & . & . & \lambda_{n-1} & . \\ 0 & . & . & 0 & \lambda_n \end{pmatrix} = \bar{\Lambda} \quad 2.2.2.7$$

Vi multiplicerer ligning 2.2.2.7. på begge sider af lighedstegnet med \bar{C} og får

$$\bar{B} \cdot \bar{C} = \bar{C} \cdot \bar{\Lambda}, \quad 2.2.2.8$$

Søjlerne i matricen \bar{C} kaldes $\bar{C}_i (i = 1, 2, 3 \dots n)$ og dette er ensbetydende med at

$$\bar{B} \cdot \bar{C}_i = \lambda_i \cdot \bar{C}_i, \quad 2.2.2.9$$

hvorved vi ender i egenværdiproblemet, der består i at finde de såkaldte egenværdier λ til den kvadratiske matrix \bar{B} og de til egenværdierne hørende egenvektorer \bar{C}_i , således at ligningen (2.2.2.9) er opfyldt.

Ligningen (2.2.2.9) kan også skrives som

$$(\bar{B} - \lambda_i \cdot \bar{E})\bar{C}_i = 0. \quad 2.2.2.10$$

Skrives denne ligning ud fås

$$\begin{bmatrix} b_{11}-\lambda_i & b_{21} & \dots & b_{n1} \\ b_{12} & b_{22}-\lambda_i & \dots & \cdot \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{1n} & \cdot & \dots & b_{nn}-\lambda_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{i1} \\ C_{i2} \\ \vdots \\ C_{in} \end{bmatrix} = 0 \quad 2.2.2.10$$

Betingelserne for egentlige løsninger til dette lignings-system er, at reduktionsdeterminanten, d.v.s. determinanten til matrixen $(\bar{B} - \lambda_i \cdot \bar{E})$, er lig med nul.

Altså at

$$\begin{vmatrix} b_{11}-\lambda_i & \dots & b_{n1} \\ b_{12} & b_{22}-\lambda_i & \dots & \cdot \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{1n} & \cdot & \dots & b_{nn}-\lambda_i \end{vmatrix} = 0 \quad 2.2.2.11$$

Denne ligning kan skrives som et polynomium i λ_i

$$D(\lambda_i) = (-\lambda_i)^n + D_1(-\lambda_i)^{n-1} + D_2(-\lambda_i)^{n-2} \dots + D_n = 0$$

2.2.2.12

ligningen (2.2.2.12) den såkaldte karakteristiske ligning har n rødder $\lambda_1 \dots \lambda_n$. Ligningens rødder kan være såvel reelle som komplekse, ligesom der kan være multiple rødder iblandt.

Hvis der eksisterer n lineært uafhængige egenvektorer \bar{C}_i , er \bar{C} ikke singulær, og da kan en transformation af \bar{B} på diagonalform, gennemføres.

2.2.3. Løsning af modellens ligningssystem

Diskussionen om hvorledes man i praksis løser det opstillede ligningssystem: $\frac{d\bar{N}}{dt} = \bar{B} \cdot \bar{N}_1$, bliver i det følgende opsplittet i tre dele eftersom der findes

- 1) reelle egenverdier
- 2) komplekse egenverdier eller
- 3) multiple egenverdier

2.2.3.1. Reelle egenverdier. Hvor der til n reelle egenverdier, som godt kan være multiple, hører et tilsvarende antal lineært uafhængige egenvektorer, er problemet simpelt. Hvis λ_i er en reel egenverdi til \bar{B} og \bar{C} er den tilsvarende egenvektor, så er

$$\bar{N}_i = \bar{C}_i \cdot e^{\lambda_i \cdot t} \quad 2.2.3.1.1$$

et fundamentalsystem.

Fremgangsmåden ved løsning af ligningssystemet $\frac{d\bar{N}}{dt} = \bar{B} \cdot \bar{N}$ vil således være:

Den karakteristiske ligning (2.2.2.12) opskrives. Egenverdierne bestemmes, som løsninger til denne ligning.

Derefter indsættes egenverdierne efter tur i ligningen (2.2.2.11), hvorved egenvektorerne bestemmes.

Den totale løsning (2.2.3.1.1) kan nu opskrives.

2.2.3.2. Komplekse egenverdier

Hvis λ_i er en kompleks løsning til den karakteristiske ligning, er det til λ_i konjugerede komplekse tal også en løsning til denne ligning.

Udtrykket

$\bar{z} = \bar{C}_i \cdot e^{\lambda_i t}$ er en kompleks løsning til ligningen

$$\frac{d\bar{N}}{dt} = \bar{B} \cdot \bar{N}, \quad 2.2.3.2.1$$

idet man ved differentiation af \bar{z} får

$$\frac{d\bar{z}}{dt} = \lambda_i \cdot \bar{C}_i \cdot e^{\lambda_i t} \quad 2.2.2.3.2$$

Fra egenverdi-problemets konstruktion ved vi, at når λ_i er en egenverdi, gælder ligning (2.2.2.9)

$$\bar{B} \cdot \bar{C}_i = \lambda_i \cdot \bar{C}_i$$

Indsættes dette i den foregående ligning (2.2.2.3.2) fås

$$\frac{d\bar{z}}{dt} = \bar{B} \cdot \bar{C}_i \cdot e^{\lambda_i t} = \bar{B} \cdot \bar{z},$$

hvorved det ses, at \bar{z} tilfredsstiller systemet.

\bar{z} kan skrives som $\bar{z} = \bar{\phi} + j \cdot \bar{\psi}$, hvor differentiation af \bar{z} giver

$$\frac{d\bar{z}}{dt} = \frac{d\bar{\phi}}{dt} + j \cdot \frac{d\bar{\psi}}{dt}$$

Indsættes \bar{z} og $\frac{d\bar{z}}{dt}$ i den oprindelige ligning (2.2.3.2.1) fås

$$\frac{d\bar{\phi}}{dt} + j \cdot \frac{d\bar{\psi}}{dt} = \bar{B} \cdot (\bar{\phi} + j \cdot \bar{\psi})$$

Opspaltes ligningen i en imaginær og en reel del, fås

$$\frac{d\bar{\phi}}{dt} = \bar{B} \cdot \bar{\phi}$$

$$\frac{d\bar{\psi}}{dt} = \bar{B} \cdot \bar{\psi}$$

hvilket igen betyder at

$$\phi = \operatorname{Re}(\bar{C}_1 \cdot e^{\lambda_1 t}) \quad \text{og} \quad \psi = \operatorname{Im}(\bar{C}_1 \cdot e^{\lambda_1 t})$$

begge er løsninger til ligningssystemet. Det kan vises at de to løsninger er lineært uafhængige.

2.2.3.3. Multiplicitet af egenverdier. Det vil ikke altid være muligt at finde den totale løsning til $\frac{d\bar{N}}{dt} = \bar{B} \cdot \bar{N}$ ved en transformation på diagonalform, idet det kræver, at man kan finde lineært uafhængige egenvektorer.

Findes der dobbelte eller flerdobbelte egenverdier, vil det ikke altid være muligt at finde lineært uafhængige egenvektor.

Problemet kan da løses ved et kvalificeret gæt. Vi forsøger med løsningen,

$$\bar{\phi} = (\bar{C}_r + \frac{t}{1!} \cdot \bar{C}_{r-1} + \frac{t^2}{2!} \bar{C}_{r-2} \dots + \frac{t^{r-1}}{(r-1)!} \bar{C}_1) \cdot e^{\lambda t} \quad 2.2.3.3.1$$

hvor r er multipliciteten af λ , og \bar{C}_r er en hovedvektor, som findes ud fra udtrykket

$$(\bar{B} - \lambda \bar{E})^r \cdot \bar{C}_r = 0. \quad 2.2.3.3.2$$

Vi differentierer nu $\bar{\phi}(t)$ og indsætter $\frac{d\bar{\phi}}{dt}(t)$ og $\bar{\phi}$ i ligningen:

$$\frac{d\bar{\phi}}{dt} = \bar{B} \cdot \bar{\phi} \quad 2.2.3.3.3$$

$$(\lambda \cdot \bar{C}_r + \frac{t}{1!} \cdot \lambda \cdot \bar{C}_{r-1} \dots + \frac{t^{r-1}}{(r-1)!} \lambda \bar{C}_1) \cdot e^{\lambda t} +$$

$$(\bar{C}_{r-1} + \frac{t}{1!} \cdot \bar{C}_{r-2} \dots + \frac{t^{r-2}}{(r-2)!} \bar{C}_1) \cdot e^{\lambda t} =$$

$$\bar{B}(\bar{C}_r + \frac{t}{1!} \cdot \bar{C}_{r-1} + \frac{t^2}{2!} \bar{C}_{r-2} \dots + \frac{t^{r-1}}{(r-1)!} \bar{C}_1) \cdot e^{\lambda t}$$

Der kan forenkles ved at dividere på begge sider af lighedstegnet med $e^{\lambda t}$. For at ϕ skal være en løsning må koefficienterne til t^q være ens på begge sider af lighedstegnet d.v.s.

$$\bar{C}_{r-1} = \bar{C}_r (\bar{B} - \lambda \bar{E}), \text{ hvor } \bar{C}_r (\bar{B} - \lambda \bar{E})^r = 0 \quad 2.2.3.3.4.$$

$$\bar{C}_{r-2} = \bar{C}_{r-1} (\bar{B} - \lambda \bar{E}) \quad 2.2.3.3.5.$$

Frengangsmåden ved løsning af ligningssystemet $\frac{d\bar{N}}{dt} = \bar{B} \cdot \bar{N}$, når der findes multiple egenverdier, er således følgende:

Den karakteristiske ligning (2.2.2.12) opskrives. Egenverdierne bestemmes som løsning til denne ligning. Derefter indsættes egenverdierne efter tur i ligningen (2.2.2.11), hvorved egenvektorerne bestemmes.

For den multiple rod med multipliciteten r kan \bar{C}_r bestemmes ud fra ligning (2.2.3.3.2).

Når \bar{C}_r er bestemt kan $\bar{C}_{r-1} \dots \bar{C}_1$ bestemmes ud fra ligningen (2.2.3.3.5) og løsningen (2.2.3.3.1) kan opskrives.

Den totale løsning, der er en kombination af løsningerne for de singulære egenverdier og den multiple egenverdi, kan sluttelig opskrives.

2.3. Valg af metode til bestemmelse af modellens koefficientmatrix, B, ud fra målinger.

De overvejelser, der er lagt til grund for den anvendte målemetode til bestemmelse af koefficientmatricen \bar{B} , skal belyses i det følgende:

Valget stod mellem to metoder. Den ene var at tilføre hele huset sporgas, således at begyndelseskonzentrationen er den samme i alle rum ved målingens start, og dernæst måle koncentrationen af sporgassen i de forskellige rum som funktion af tiden.

Den anden var at tilføre sporgassen til rummene enkeltvis og måle den faldende koncentration i doseringsrummet, og de stigende koncentrationer i de andre rum som funktion af tiden.

2.3.1. Vurdering af Metode 1: Samme begyndelseskonzentration i alle rum.

Til vurdering af metoden, hvor alle rum samtidig tilføres sporgas, betragter vi en trerumsmodel og opskriver ligningssystemet til bestemmelse af B-matricen

$$\frac{dN_1(t)}{dt} = b_{11} \cdot N_1(t) + b_{21} N_2(t) + b_{31} \cdot N_3(t)$$

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = b_{12} \cdot N_1(t) + b_{22} N_2(t) + b_{32} \cdot N_3(t) \quad 2.3.1.1.$$

$$\frac{dN_3(t)}{dt} = b_{13} \cdot N_1(t) + b_{23} N_2(t) + b_{33} \cdot N_3(t)$$

Vi tænker os nu, at alle rum til tiden $t = 0$ har samme koncentration af sporgassen, og at der er tegnet kurver for koncentrationen N som funktion af tiden. Vi udvælger tre tidspunkter t_1 , t_2 og t_3 og aflæser ordinaterne på optegnede kurver samt kurvernes hældning til de tre tidspunkter.

Herved kan der opskrives 3 ligningssystemer, hvert system bestående af 3 ligninger med tre ubekendte henholdsvis

$(b_{11}, b_{21}, b_{31}), (b_{12}, b_{22}, b_{32})$ og (b_{13}, b_{23}, b_{33}) , hvorefter matricen \bar{B} kan bestemmes.

For at illustrere usikkerheden på metoden blev følgende øvelse udført.

Som udgangspunkt antages, at følgende ligningssystem gælder til beskrivelse af sammenhængen mellem koncentration og koncentrationsændringer i de enkelte rum.

$$\frac{dN_1}{dt} = -3N_1 + \frac{4}{5}N_2 + 2N_3$$

$$\frac{dN_2}{dt} = 1N_1 - 5N_2 + 1N_3 \quad 2.3.1.2.$$

$$\frac{dN_3}{dt} = 2N_1 + 1N_2 - 4N_3$$

idet tiden antages at være målt i timer. Koefficienterne til koncentrationerne er givet realistiske værdier. Egenværdierne kan findes ved at indsætte i ligningen (2.2.2.11).

$$\begin{vmatrix} -3 - \lambda & \frac{4}{5} & 2 \\ 1 & -5 - \lambda & 1 \\ 2 & 1 & -4 - \lambda \end{vmatrix} = 0 \Rightarrow$$

$$\lambda^3 + 41,2 \lambda + 12 \lambda^2 + 30,2 = 0 \quad 2.3.1.3.$$

Ligningen (2.3.1.3.) har rødderne:

$$\lambda_1 = -1, \lambda_2 = -5,7236 \text{ og } \lambda_3 = -5,2765$$

Vi skal nu finde søjlerne i matrixen \bar{C} , de såkaldte egenvektorer.

Den til λ_1 hørende egenvektor, $\bar{C}_1 = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{Bmatrix}$, findes ved indsæt-

telse i ligningen (2.2.2.10.)

$$\begin{Bmatrix} -3 + 1 & \frac{4}{5} & 2 \\ 1 & -5 + 1 & 1 \\ 2 & 1 & -4 + 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \Rightarrow$$

$$2f_1 + \frac{4}{5}f_2 + 2f_3 = 0$$

$$f_1 - 4f_2 + f_3 = 0$$

$$2f_1 + f_2 - 3f_3 = 0$$

heraf fås f_1 , f_2 og f_3 :

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{11}{5}a \\ a \\ \frac{9}{5}a \end{Bmatrix}$$

hvor a er en konstant. På tilsvarende måde findes egenvektoren,

\bar{C}_2 hørende til $\lambda_2 = -5,7236$ og C_3 hørende til $\lambda_3 = -5,276$

$$\bar{C}_2 = \begin{Bmatrix} 0,8944b \\ b \\ 1,618b \end{Bmatrix}$$

$$\bar{C}_3 = \begin{Bmatrix} -0,8943c \\ c \\ 0,6179c \end{Bmatrix}$$

Løsningen til ligningssystemet bliver da ved indsættelse
i ligning (2.2.3.1.1)

$$\begin{Bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 2,2a & 0,8944b & -0,8943c \\ a & b & c \\ 1,8a & 1,618b & 0,6179c \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} e^{-t} \\ e^{-5,726t} \\ e^{-5,2765t} \end{Bmatrix} \quad 2.3.1.3a$$

eller skrevet ud

$$\begin{aligned} N_1 &= 2,2a \cdot e^{-t} + 0,8944b \cdot e^{-5,7236t} - 0,8943c \cdot e^{-5,2765t} \\ N_2 &= a \cdot e^{-t} + b \cdot e^{-5,7236t} + c \cdot e^{-5,2765t} \quad 2.3.1.3b \\ N_3 &= 1,8a \cdot e^{-t} - 1,618b \cdot e^{-5,7236t} + 0,6179c \cdot e^{-5,2765t} \end{aligned}$$

Hvis vi tænker os, at alle husets rum til tiden $t = 0$
bliver påtrykt den samme koncentration af sporgassen, og sættes
denne koncentration til 100 bliver a , b og c bestemt på følgen-
de måde ved indsættelse i (2.3.1.3b)

$$2,2a + 0,8944b - 0,8943c = 100$$

$$a + b + c = 100 \quad \Rightarrow$$

$$1,8a - 1,618b + 0,6179c = 100$$

$$a = 54,46$$

$$b = 11,70$$

$$c = 33,84$$

Indsættes a , b og c i ligningssystemet (2.3.1.3b) fås

$$N_1 = 119,81 \cdot e^{-t} + 10,46 \cdot e^{-5,7263t} - 30,26 \cdot e^{-5,2765t}$$

$$N_2 = 54,46 \cdot e^{-t} + 11,70 \cdot e^{-5,7263t} + 33,84 \cdot e^{-5,2765t}$$

$$N_3 = 98,03 \cdot e^{-t} - 18,93 \cdot e^{-5,7263t} + 20,91 \cdot e^{-5,2765t}$$

$N_1(t)$, $N_2(t)$ og $N_3(t)$ er optegnet på kurvebladene fig. (2.3.1.1.) fig. (2.3.1.2.) og fig. (2.3.1.3.).

På kurverne aflæses nu af en omhyggelig laborant, funktionsværdierne, N og hældningerne, $\frac{dN}{dt}$ til tiderne $t = 0,1$; $0,5$ og $1,5$, værdierne indsættes og ligningssystemerne løses.

Som eksempel vises ligningssystemet til bestemmelse af (b_{11} , b_{21} , b_{31})

$$\frac{dN_1(0,1)}{dt} = b_{11}N_1(0,1) + b_{21}N_2(0,1) + b_{31}N_3(0,1)$$

$$\frac{dN_1(0,5)}{dt} = b_{11}N_1(0,5) + b_{21}N_2(0,5) + b_{31}N_3(0,5)$$

$$\frac{dN_1(1,5)}{dt} = b_{11}N_1(1,5) + b_{21}N_2(1,5) + b_{31}N_3(1,5)$$

De aflæste værdier indsættes

$$-44,5 = b_{11} \cdot 96,5 + b_{21} \cdot 75,8 + b_{31} \cdot 90,4$$

$$-63,6 = b_{11} \cdot 71,1 + b_{21} \cdot 36,2 + b_{31} \cdot 59,9$$

$$-27,1 = b_{11} \cdot 26,7 + b_{21} \cdot 12,2 + b_{31} \cdot 21,9$$

og ligningerne løses, hvorved b_{11} , b_{21} og b_{31} bestemmes til

$$b_{11} = 7,38$$

$$b_{21} = 1,33$$

$$b_{31} = 8,51$$

Da de korrekte værdier er

$$b_{11} = 3$$

$$b_{21} = 0,8$$

$$b_{31} = 2 \quad ,$$

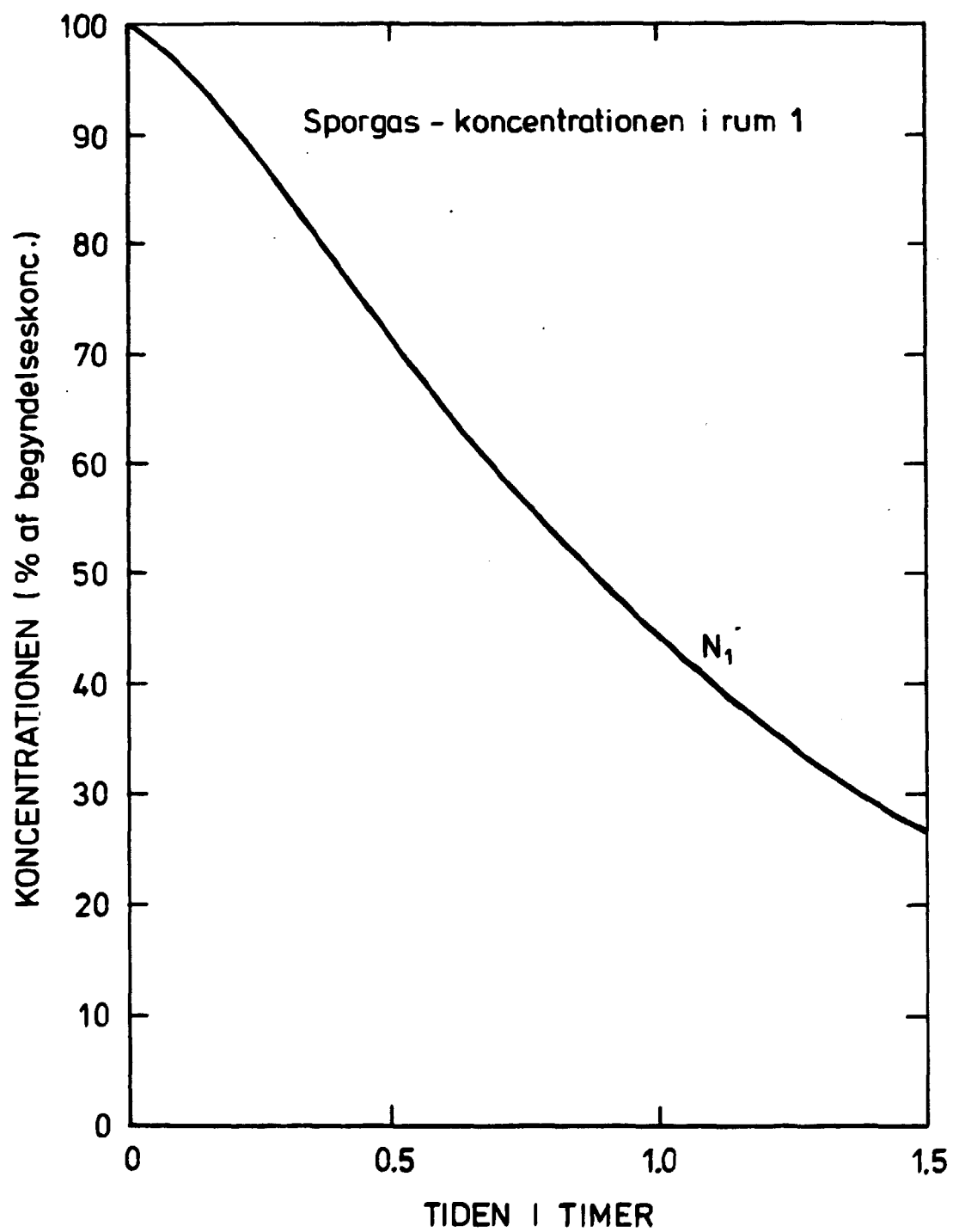


Fig. 2.3.1.1

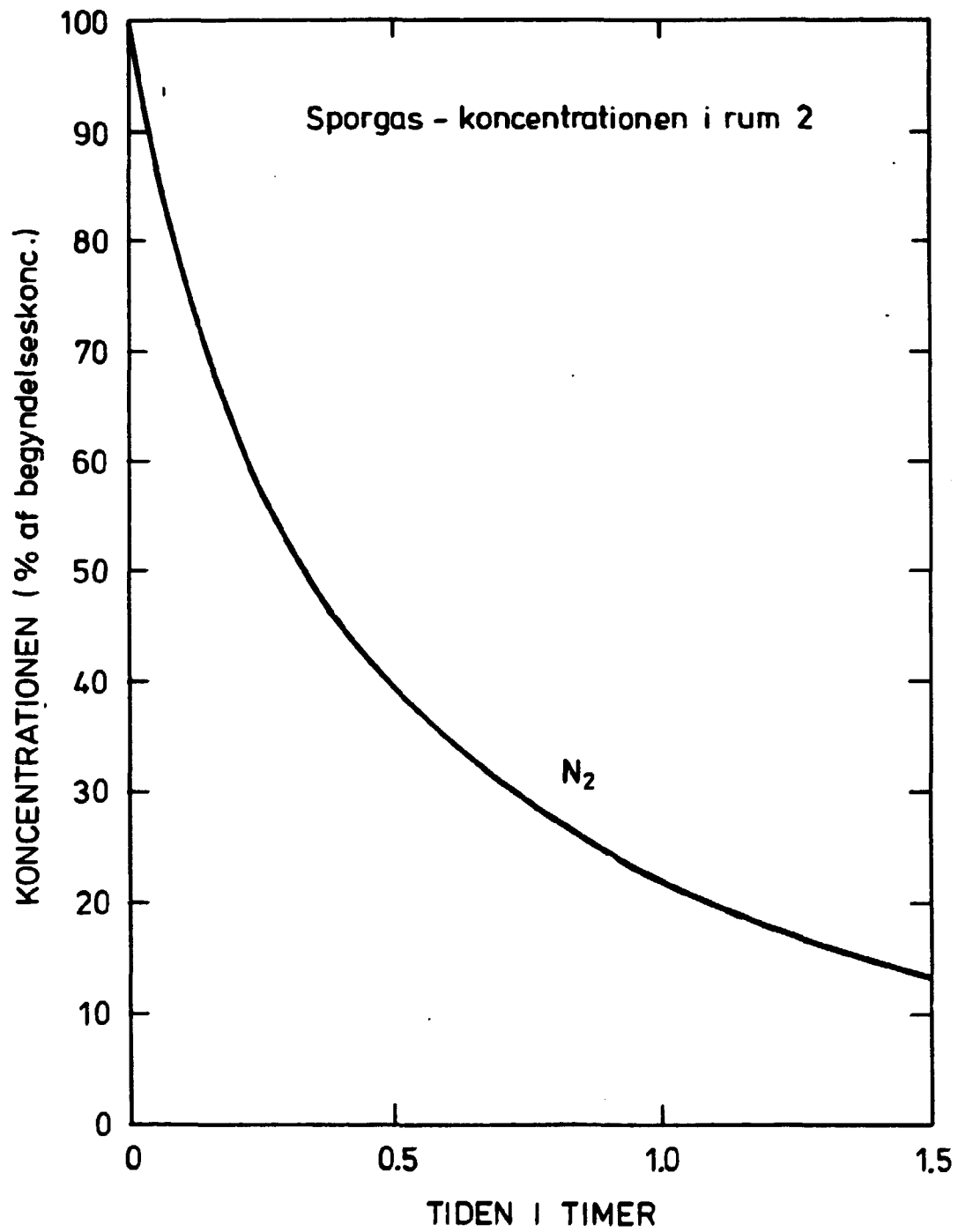


Fig. 2.3.1.2

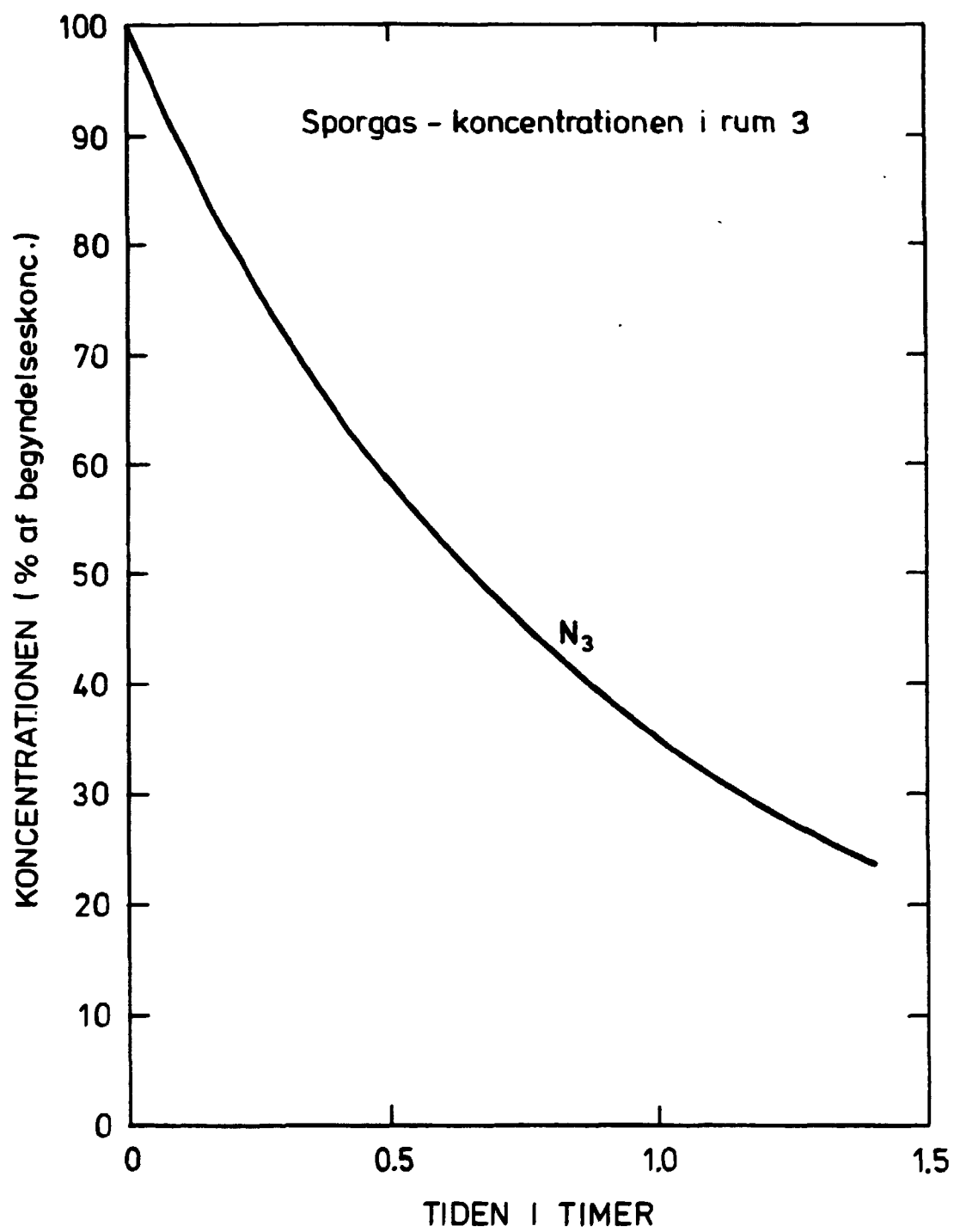


Fig. 2.3.1.3

ses det, at metoden ikke kan anvendes, da den giver en alt for stor usikkerhed.

2.3.2. Vurdering af Metode 2: Dosering i ét rum ad gangen

Den anden metode, vi har undersøgt, er at tilføre rum 1 sporgas uden at tilføre de andre rum nogen gas. Begyndelsesbetingelserne bliver derved ændret til koncentration 100 i rum 1 og 0 i de andre rum. Derved ændres værdierne af a, b og c.

Disse værdier bestemmes ved at indsætte $t=0$, $N_1=100$, $N_2=0$ og $N_3=0$ i ligningssystemet (2.3.1.3b)

$$2,2a + 0,8944b + (-0,8943c) = 100$$

$$a + b + c = 0 \Rightarrow$$

$$1,8a - 1,618b + 0,678c = 0$$

$$a = 24,75$$

$$b = 13,09$$

$$c = 37,84$$

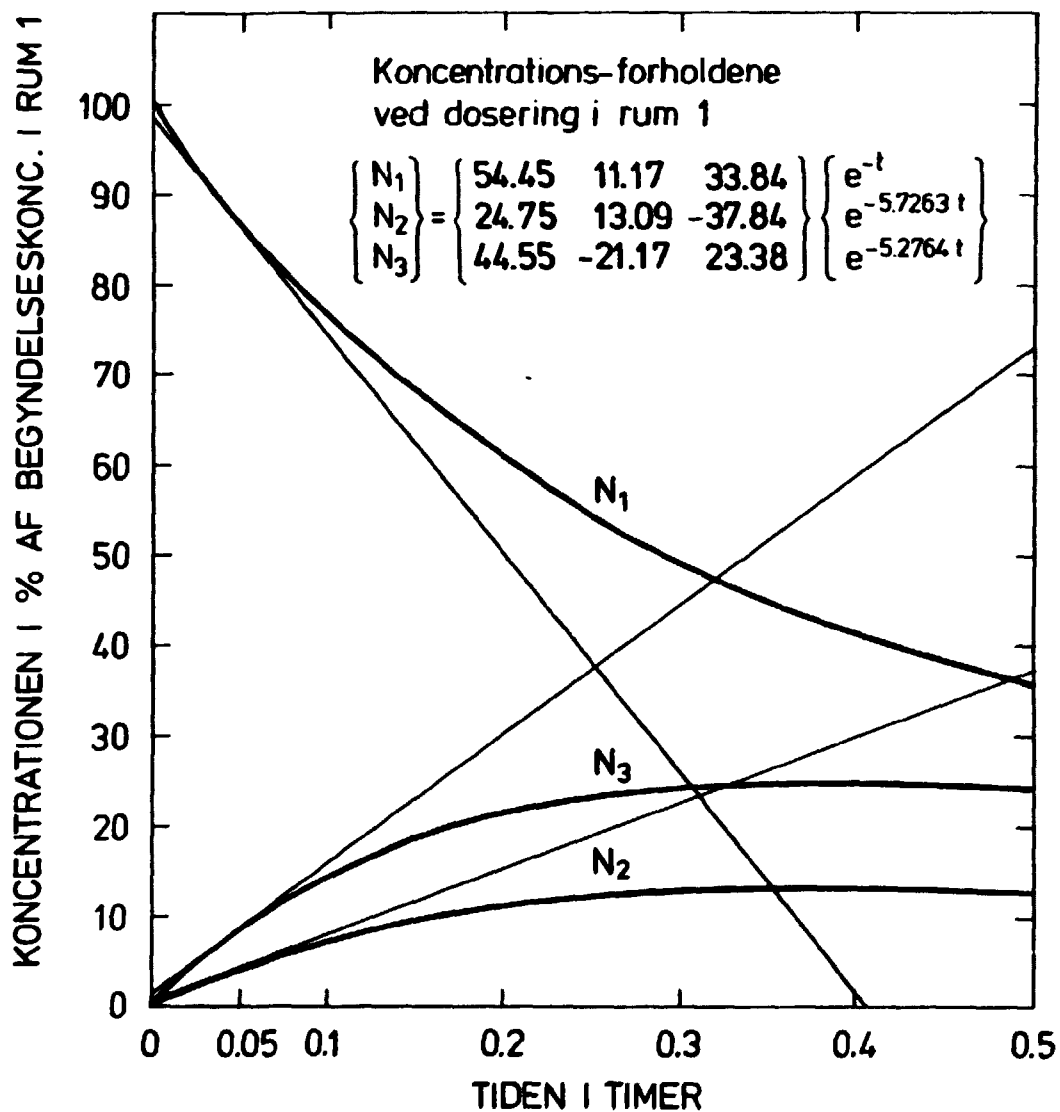
herved fås ved indsættelse i (2.3.1.3b)

$$\begin{Bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 54,45 & 11,71 & 33,84 \\ 24,75 & 13,09 & -37,84 \\ 44,55 & -21,17 & -29,38 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} e^{-t} \\ e^{-5,7263t} \\ e^{-5,2765t} \end{Bmatrix}$$

$N_1(t)$, $N_2(t)$ og $N_3(t)$ optegnes nu igen på kurvepapir fig. (2.3.2.1.) På tilsvarende måde optegnes kurverne der korresponderer med en dosering i rum 2 og rum 3 (fig. 2.3.2.2.) og (fig. 2.3.2.3.).

Den førømtalte omhyggelige laborant aflæser nu værdierne for $\frac{dN}{dt}$ og N til tiden 0,05 for de 9 kurver. Herved kan igen opstilles tre ligningssystemer, hvert bestående af 3 ligninger til bestemmelse af \vec{B} .

Som eksempel vises beregningen af (b_{11}, b_{21}, b_{31})

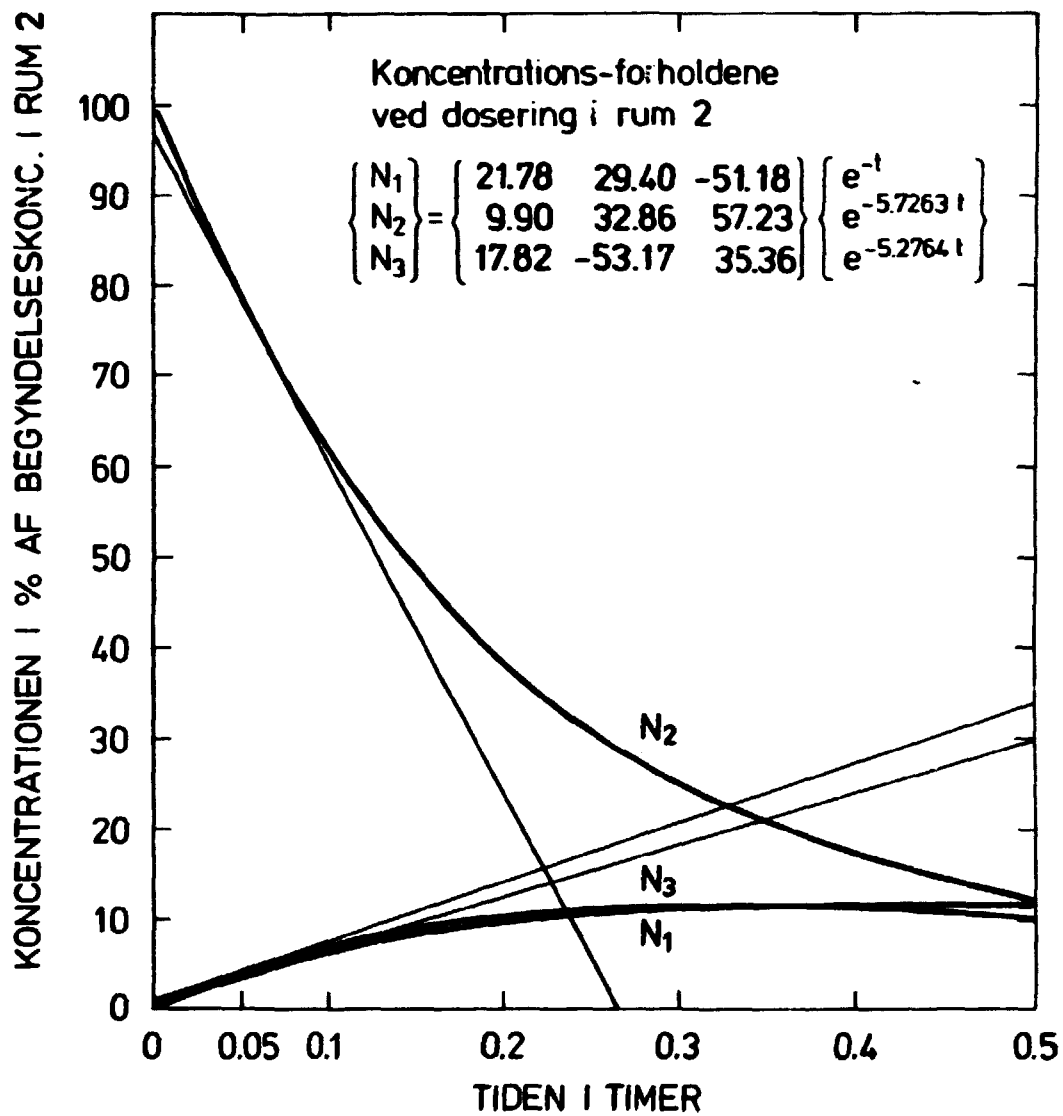


$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{-96 - 22.5}{0.5} = -237$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \frac{37.5 - 0.5}{0.5} = 74$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \frac{73.5 - 1.5}{0.5} = 144$$

Fig. 2.3.2.1

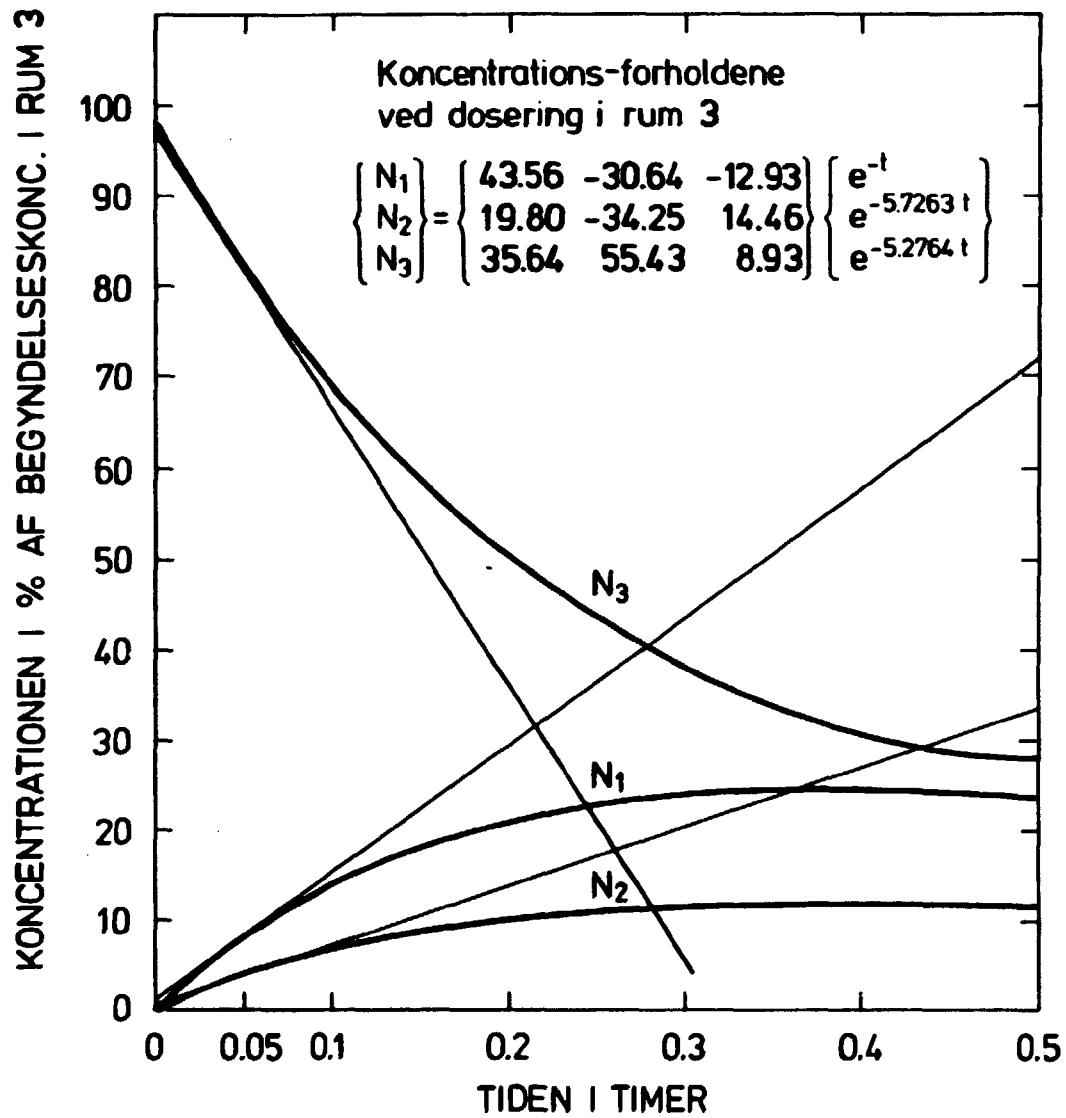


$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{30 - 0.5}{0.5} = 59$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \frac{-97 - 18}{0.3} = -388$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \frac{34 - 1}{0.5} = +66$$

Fig. 2.3.2.2



$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{72 - 1.0}{0.5} = 142$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \frac{36.5 - 1.5}{0.5} = 70$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \frac{-97.5 - 5}{0.3} = -308$$

Fig. 2.3.2.3

Fra fig. (2.3.2.1) fås for $t = 0,05$

$$-237 = -b_{11} \cdot 86,57 + b_{21} \cdot 4,30 + b_{31} \cdot 8,52$$

$$59 = -b_{11} \cdot 3,49 + b_{21} \cdot 78,05 + b_{31} \cdot 4,18$$

$$142 = b_{11} \cdot 8,49 + b_{21} \cdot 4,22 + b_{31} \cdot 82,39$$

løsningen bliver

$$b_{11} = 2,97$$

$$b_{21} = 0,79$$

$$b_{31} = 1,99$$

hvor de rigtige b-værdier er

$$b_{11} = 3$$

$$b_{21} = 0,8$$

$$b_{31} = 2$$

Tilsvarende fra fig. 2.3.2.2:

$$b_{12} = 1$$

løsning: $b_{22} = 5,01$ rigtige værdier

$$b_{32} = 1,03$$

$$b_{12} = 1$$

$$b_{22} = 5$$

$$b_{32} = 1$$

og fig. 2.3.2.3

$$b_{31} = 2,01$$

løsning: $b_{32} = 0,97$ rigtige værdier

$$b_{33} = 3,89$$

$$b_{31} = 2$$

$$b_{32} = 1$$

$$b_{33} = 4$$

Det må konkluderes, at metode 2, med omhyggeligt optagne kurver for koncentrationen som funktion af tiden, kan benyttes til bestemmelse af matricen \bar{B} .

2.4. Målemetoden.

Luftskiftemålinger er foretaget dels af Teknologisk Institut, dels af forsøgsanlæg Risø. Den nedenfor beskrevne metode er benyttet af Risø. Den af Teknologisk Institut anvendte metode er beskrevet i Collet (1982).

2.4.1. Fremgangsmåde og apparatur.

Rundt omkring i husets rum er opstillet meget svage ventilatorer, som skal sikre, at der er passende omrøring i luften, således at koncentrationen af sporgas er lige stor overalt i rummet.

Et antal lige lange bløde plasticslanger forbindes til måleinstrumentet gennem en fordelerkasse, hvorfra der er et konstant svagt sug på samtlige slanger. Den anden åbne ende af slangerne placeres nogenlunde i midten af de forskellige rum.

Alle husets døre og vinduer er lukkede.

Med en éngangssprøjte doseres en passende mængde af gassen SP_6 i doseringsrummet.

Éngangssprøjten fyldes i fri luft, og bringes direkte fra udeluften gennem vindue eller yderdør til det pågældende doseringsrum og fjernes på samme måde, for at undgå at de øvrige rum kontamineres med gassen.

Efter doseringen fordeles gassen i rummet med en blæser, der afbrydes efter et par minutter.

Der optages nu en måleserie, der viser sporgassens koncentration i rummene som funktion af tiden. Der lægges vægt på, at der ud fra målingerne skal kunne optegnes en veldefineret kurve for doseringsrummet og for naborummene til doseringsrummet.

Målinger af koncentrationen af sporgassen fortsættes indtil der er konstateret et så stort fald i koncentrationen af SP_6 i doseringsrummet, at det er muligt at bestemme hældningen af kurven i doseringsrummet.

2.4.2. Bestemmelse af transportmatricen \bar{B}

Ud fra de målte data kan transportmatricen \bar{B} bestemmes, I det følgende skal fremgangsmåden gennemgås.

I doseringsrummet er koncentrationen af sporgas normalt langt højere end koncentrationen i naborummene. Vi kan derfor se bort fra det tilskud af sporgas, der måtte komme fra naborum, når vi betragter koncentrationsændringer i doseringsrummet.

Koncentrationen af sporgas i doseringsrummet kan med denne forudsætning skrives som

$$\frac{dN_d}{dt} = b_{dd} \cdot N_d, \quad 2.4.2.1$$

hvor N_d er koncentrationen i doseringsrummet, og b_{dd} er den del af luften i doseringsrummet, som pr. tidsenhed, udveksles med omgivelserne.

Løses ligning (2.4.2.1) fås:

$$N_d = N_d^0 \cdot e^{tb_{dd}}, \quad 2.4.2.2a$$

hvor N_d^0 er koncentrationen til tiden $t=0$

b_{dd} kan nu bestemmes ud fra de målte værdier af N_d ved lineær regression, idet ligningen (2.4.2.2a) kan skrives som:

$$\ln N_d = \ln N_d^0 + t \cdot b_{dd}. \quad 2.4.2.2b$$

Optegnes $\ln N_d$ som funktion af t , kan der indlægges en regressionslinje, hvis hældning bestemmer b_{dd} .

På grund af den omtalte store forskel mellem koncentrationen af sporgassen i doseringsrummet og naborummene kan der ligeledes gøres forenkende antagelser vedrørende koncentrationsændringerne i naborum.

Vi antager således, at sporgassen, der bliver tilført et naborum til doseringsrummet, udelukkende kommer fra doseringsrummet, d.v.s. at vi ser bort fra bidrag af sporgas fra andre rum.

Vi kan da opskrive følgende tilnærmede ligning for koncentrationsændringen i det betragtede naborum.

$$\frac{dN_n}{dt} = b_{nd} \cdot N_d + b_{nn} \cdot N_n, \quad 2.4.2.3$$

hvor b_{nd} er den del af luften i det betragtede rum, som pr. tidsenhed bliver tilført fra doseringsrummet, og b_{nn} er den del af luften i rummet, som pr. tidsenhed udveksles med omgivelserne, dvs. det fri og alle øvrige rum.

Indsættes ligningen (2.4.2.2a) i ligning (2.4.2.3)

fås efter en omordning af leddene

$$\frac{dN_n}{dt} = b_{nn} \cdot N_n + b_{nd} \cdot N_d^0 \cdot e^{b_{dd} \cdot t} \quad 2.4.2.4$$

Løsningen til denne differentialligning bliver

$$N_n = e^{\int b_{nn} dt} \left[\int e^{-\int b_{nn} dt} \cdot b_{nd} \cdot N_d^0 \cdot e^{b_{dd} \cdot t} \cdot dt + c' \right]$$

Dette udtryk kan skrives som

$$N_n = a \cdot e^{b_{dd} \cdot t} + b \cdot e^{b_{nn} \cdot t} + c \quad 2.4.2.5$$

hvor a , b og c er konstanter.

Vi omdøber nu b_{dd} til λ_1 og b_{nn} til λ_2

Koncentrationen af sporgassen i et naborum til et doseringsrum kan således beskrives som

$$f(a,b,c,t) = a \cdot e^{\lambda_1 t} + b \cdot e^{\lambda_2 t} + c \quad 2.5.2.6$$

hvor λ_1 og λ_2 er de for doseringsrummet og det betragtede naborum karakteristiske lambdaer.

Disse lambdaer kan som nævnt findes ved beregninger foretaget ud fra målinger af de enkelte rum som doseringsrum, og da måleproceduren indebærer at alle rum optræder som doseringsrum netop en gang vil alle rummenes karakteristiske lambdaer kunne findes.

Opgaven bliver nu ud fra måleresultaterne at bestemme a, b og c bedst muligt, dette betyder at spredningen på middelværdien af måleresultaterne skal være så lille som mulig.

Spredningen på middelværdien kan opskrives som

$$\sigma_y = \frac{[y_i - f(a, b, c, t_i)]^2}{n-2} \quad 2.5.2.7$$

hvor y_i er det til tiden t_i målte koncentration.

Når σ_y er minimum vil $\sigma_y^2 \cdot (n-2)$ også være minimum.

Vores opgave kan da reduceres til at bestemme a, b og c således at $F(a, b, c) = \sigma_y^2 \cdot (n-2) = \sum_{i=1}^n [y_i - f(a, b, c, t_i)]^2$

bliver minimum.

Funktionen $F(a, b, c)$ repræsenterer en flade i det fire-dimensionale rum. Denne flade har minimum når de partielle afledede alle er nul. Vi finder de partielle afledede ved partiel differentiation af $F(a, b, c)$

$$\frac{\partial F(a, b, c)}{\partial a} = \sum_{i=1}^n -2[y_i - f(a, b, c, t_i)] \cdot e^{\lambda_1 t_i}$$

$$\frac{\partial F(a, b, c)}{\partial b} = \sum_{i=1}^n -2[y_i - f(a, b, c, t_i)] \cdot e^{\lambda_2 t_i} \quad 2.5.2.8$$

$$\frac{\partial F(a, b, c)}{\partial c} = \sum_{i=1}^n -2[y_i - f(a, b, c, t_i)]$$

og sætter dem lig med nul, herved fås følgende ligningssystem:

$$\sum_{i=1}^n y_i \cdot e^{\lambda_1 t_i} - a \sum_{i=1}^n e^{2\lambda_1 t_i} - b \sum_{i=1}^n e^{(\lambda_1 + \lambda_2) t_i}$$

$$-c \sum_{i=1}^n e^{\lambda_1 t_i} = 0$$

$$\sum_{i=1}^n y_i \cdot e^{\lambda_2 t_i} - a \sum_{i=1}^n e^{(\lambda_1 + \lambda_2) t_i} - b \sum_{i=1}^n e^{2\lambda_2 t_i}$$

2.5.2.9.

$$-c \sum_{i=1}^n e^{+\lambda_2 t_i} = 0$$

$$\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n e^{\lambda_1 t_i} - b \sum_{i=1}^n e^{\lambda_2 t_i} - c \cdot n = 0$$

Da alle størrelser i de tre ligninger i ligningssystemet (2.5.2.9.), på nær a, b og c er kendte, kan ligningerne løses med hensyn til a, b og c.

Når a, b og c er fundet, kan det bedste kurvefit

$$f(t) = a \cdot e^{\lambda_1 t} + b \cdot e^{\lambda_2 t} + c, \quad 2.5.2.10$$

skrives op. Dette kurvefit benyttes på samme måde som vist i eksemplet i afsnit (2.3.2) til at finde sammenhørende værdier af $f(t)$ og $f'(t)$ og ud fra disse at opskrive ligninger til bestemmelse af transportmatricen \bar{B} .

Det bemærkes, at de beskrevne tilnærmelser udelukkende er benyttet til at finde det bedste kurvefit i naborum til doseringsrummet.

I de senere beregninger benyttes de nævnte tilnærmelser ikke, d.v.s. at de endelige egenværdier bestemmes ud fra det fuldstændige ligningssystem.

For at få en så lille usikkerhed som muligt vælger vi at bestemme funktionsværdien $f(t_m)$ og den aflededes værdi $f'(t_m)$ til en tid, t_m , der ligger midt i måleintervallet.

Usikkerheden på $f(t_m)$ og $f'(t_m)$ kan da med god tilnærmelse bestemmes som usikkerheden på middelværdierne af $f(t_m)$ og $f'(t_m)$.

De egenværdier, som er beregnede ud fra målingerne på de i denne rapport beskrevne huse, har alle vist sig at blive reelle og singulære.

Det vil sige at løsningssystemet kan skrives op på følgende måde:

$$\begin{aligned} N_1 &= g_1 \cdot c_{11} \cdot e^{\lambda_1 t} + g_2 \cdot c_{21} \cdot e^{\lambda_2 t} + \dots g_n \cdot c_{n1} \cdot e^{\lambda_n t} \\ N_2 &= g_1 \cdot c_{12} \cdot e^{\lambda_1 t} + g_2 \cdot c_{22} \cdot e^{\lambda_2 t} + \dots g_n \cdot c_{n2} \cdot e^{\lambda_n t} \\ &\vdots \\ N_n &= g_1 \cdot c_{1n} \cdot e^{\lambda_1 t} + g_2 \cdot c_{2n} \cdot e^{\lambda_2 t} + \dots g_n \cdot c_{nn} \cdot e^{\lambda_n t} \end{aligned}$$

hvor N_i er koncentrationen til tiden t i rum i , $\lambda_1 \dots \lambda_n$ er egenværdierne, $\{c_{i1}, c_{i2} \dots c_{in}\}$ er en egenvektor hørende til egenværdien λ_i og $g_1, g_2 \dots g_n$ er normeringskonstanter, der bestemmes ud fra begyndelsesværdierne.

2.5. Model til beskrivelse af indtrængen af gas i huse

Hidtil har vi beskrevet en situation, hvor koncentrationen af sporgassen i udeluften er nul.

Ved et forureningsuheld vil den reelle situation imidlertid være, at en forurenende gas til tiden $t = 0$ når det betragtede hus.

Vi antager i første omgang, at koncentrationen ikke ændres således at der for tiden $t > 0$ kan opskrives følgende ligningssystem

$$\frac{d\bar{N}}{dt} = \bar{B} \cdot \bar{N} + \bar{H}, \text{ hvor } \bar{H} \text{ er en konstant vektor, der angiver}$$

hvor meget der, pr. tidsenhed, trænger ind i husets forskellige rum, divideret med rummenes volumen

Løsningen til dette ligningssystem er

$$\begin{aligned} N_1 &= g_1 \cdot c_{11} \cdot e^{\lambda_{11}t} + g_2 \cdot c_{21} \cdot e^{\lambda_{22}t} + \dots + g_n \cdot c_{n1} \cdot e^{\lambda_{nn}t} + d_t \\ N_2 &= g_1 \cdot c_{12} \cdot e^{\lambda_{11}t} + g_2 \cdot c_{22} \cdot e^{\lambda_{22}t} + \dots + g_n \cdot c_{n2} \cdot e^{\lambda_{nn}t} + d_t \\ &\vdots \\ N_n &= g_1 \cdot c_{1n} \cdot e^{\lambda_{11}t} + g_2 \cdot c_{2n} \cdot e^{\lambda_{22}t} + \dots + g_n \cdot c_{nn} \cdot e^{\lambda_{nn}t} + d_t, \end{aligned}$$

hvor begyndelseshetingelserne til tiden t_0 er en udekonzentration på N_0 og en indekonzentration, der er nul.

Vi har altså betragtet følgende situation.

En sky med den konstante gaskonzentration N_0 når til tiden $t = 0$ et hus, hvorved udekonzentrationen omkring huset antages at ændre sig momentant fra 0 til N_0 .

Når skyen til tiden τ_1 har passeret antages koncentrationen omkring huset igen at ændre sig momentant fra N_0 til 0. Vi tænker os endelig at alle vinduer og døre åbnes til tidspunktet $\tau_1 + \tau$, hvorved koncentrationen inde antages momentant at falde til 0.

Vi ønsker i den skitserede situation at bestemme koncentrationen af gassen i de enkelte rum som funktion af tiden, og dernæst at bestemme overføringsfunktionen for eksponeringsintegral-et fra udeluften til de enkelte rum.

2.5.1. Eksempel på indtrængen af ikke-reaktive gasser i huse

Som eksempel benyttes målinger i et uisolaret rækkehus opført først i halvtredserne beliggende i Virum.

Tiden måles i timer: $\tau_1 = 3$, $\tau_2 = 1$ og $N_0 = 1$

For tiden $0 \leq t \leq \tau_1$ fås da

$$N_1 = -1,05 \cdot 0,99 \cdot e^{-0,37t} + 0,84 \cdot 0,07 \cdot e^{-1,08t} + 0,25 \cdot 0,0$$

$$+ 0,08 \cdot 0,25 \cdot e^{-1,30t} + 0,04 \cdot 0,01 \cdot e^{-0,69t+1}$$

$$N_2 = -1,05 \cdot 0,16 \cdot e^{-0,37t} - 0,84 \cdot 0,98 \cdot e^{-1,08t} - 0,25 \cdot 0,06 \cdot e^{-0,65t}$$

$$- 0,08 \cdot 0,12 \cdot e^{-1,30t} - 0,04 \cdot 0,18 \cdot e^{-0,69t+1}$$

$$N_3 = -1,05 \cdot 0,20 \cdot e^{-0,37t} - 0,84 \cdot 1,79 \cdot e^{-1,08t} - 0,25 \cdot 0,04 \cdot e^{-0,65t}$$

$$- 0,08 \cdot 8,65 \cdot e^{-1,30t} - 0,04 \cdot 0,12 \cdot e^{-0,69t+1}$$

$$N_4 = -1,05 \cdot 0,05 \cdot e^{-0,37t} + 0,84 \cdot 0,04 \cdot e^{-1,08t} - 0,25 \cdot 2,76 \cdot e^{-0,65t}$$

$$- 0,08 \cdot 0,00 \cdot e^{-1,30t} - 0,04 \cdot 7,09 \cdot e^{-0,69t+1}$$

$$N_5 = -1,05 \cdot 0,31 \cdot e^{-0,37t} + 0,84 \cdot 1,25 \cdot e^{-1,08t} - 0,25 \cdot 7,46 \cdot e^{-0,65t}$$

$$+ 0,08 \cdot 0,10 \cdot e^{-1,30t} + 0,04 \cdot 3,48 \cdot e^{-0,69t+1}$$

For tiden $\tau_1 \leq t \leq \tau_1 + \tau_2$ bestemmes
normeringskonstanterne $g_1, g_2 \dots g_n$ ud fra værdierne for N_i
til tiden $t = \tau_1 = 3$

$$N_1 = 0,70 \cdot 0,99 \cdot e^{-0,37(t-3)} - 0,80 \cdot 0,07 \cdot e^{-1,08(t-3)} + 0,21 \cdot 0,00 \cdot e^{-0,65(t-3)} \\ + 0,08 \cdot 0,25 \cdot e^{-1,30(t-3)} - 0,04 \cdot 0,01 \cdot e^{-0,69(t-3)}$$

$$N_2 = 0,70 \cdot 0,16 \cdot e^{-0,37(t-3)} + 0,80 \cdot 0,98 \cdot e^{-1,08(t-3)} + 0,21 \cdot 0,06 \cdot e^{-0,65(t-3)} \\ - 0,08 \cdot 0,12 \cdot e^{-1,30(t-3)} + 0,04 \cdot 0,18 \cdot e^{-0,69(t-3)}$$

$$N_3 = 0,70 \cdot 0,20 \cdot e^{-0,37(t-3)} + 0,80 \cdot 1,80 \cdot e^{-1,08(t-3)} + 0,21 \cdot 0,04 \cdot e^{-0,65(t-3)} \\ - 0,08 \cdot 8,65 \cdot e^{-1,30(t-3)} + 0,04 \cdot 0,12 \cdot e^{-0,69(t-3)}$$

$$N_4 = 0,70 \cdot 0,05 \cdot e^{-0,37(t-3)} - 0,80 \cdot 0,04 \cdot e^{-1,08(t-3)} + 0,21 \cdot 2,76 \cdot e^{-0,65(t-3)} \\ - 0,08 \cdot 0,00 \cdot e^{-1,30(t-3)} + 0,04 \cdot 7,09 \cdot e^{-0,69(t-3)}$$

$$N_5 = 0,70 \cdot 0,31 \cdot e^{-0,37(t-3)} - 0,80 \cdot 1,25 \cdot e^{-1,08(t-3)} + 0,21 \cdot 7,46 \cdot e^{-0,65(t-3)} \\ + 0,08 \cdot 0,10 \cdot e^{-1,30(t-3)} - 0,04 \cdot 3,48 \cdot e^{-0,69(t-3)}$$

Eksponeringsintegralet ude bliver $1 \cdot 3 = 3$

Eksponeringsintegralet i rum i bliver

$$E^i = \int N_i dt = \int_0^3 N_i dt + \int_3^4 N_i dt, \text{ hvor } E_S^i = \int_0^3 N_i dt \text{ er}$$

eksponeringsintegralet under skypassagen, og $E_E^i = \int_3^4 N_i dt$ er eksponeringsintegralet efter skypassagen.

$$\text{Overføringsfaktoren } D_{oi}(E) \text{ bliver da } \frac{E_S^i + E_E^i}{E_u^i}$$

hvor E_u^i er eksponeringsintegralet udenfor.

Overføringsfaktorerne ved udluftning umiddelbart efter skypassagen bliver

$$D_{01}(E_S) = 0,38, D_{02}(E_S) = 0,65, D_{03}(E_S) = 0,60$$

$$D_{04}(E_S) = 0,55 \text{ og } D_{05}(E_S) = 0,35$$

Overføringsfaktorer ved udluftning 1 time efter skypassage bliver

$$D_{01}(E) = 0,57, D_{02}(E) = 0,77, D_{03}(E) = 0,73$$

$$D_{04}(E) = 0,76, D_{05}(E) = 0,57$$

3. IKKE REAKTIVE AEROSOLER

Ved bestemmelse af overføringsfaktoren for ikke reaktive aerosoler, kan man ikke umiddelbart se bort fra deponering og filtrering.

3.1. Model for aerosolkoncentrationsændringer, ude-inde

Tager vi igen udgangspunkt i en trerumsmodel, idet vi senere udvider til n-rum, kan vi opskrive et udtryk for ændringen af aerosolkoncentrationen i rummene.

For rum 1 gælder at

$$\frac{dN_1}{dt} = \alpha_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0 + \alpha_{21} \cdot b_{21} \cdot N_2 + \alpha_{31} \cdot b_{31} \cdot N_3 + b_{11} \cdot N_1 - d_1 \cdot N_1 \quad 3.1.1$$

hvor α_{ij} er transmissionsfaktoren gennem begrænsningen (vægge, døre m.m.) mellem rum i og rum j, α_{0j} er transmissionsfaktoren mellem ude og rum j, og d_j er den del af forureningen indeholdt i et volumenelement, der, pr. tidsenhed, deponeres på overflader i rum j. Transmissionsfaktoren er den del af forureningen der forbliver i luften når den transmitteres gennem en begrænsning f.eks. fra et rum til et andet eller fra ude til inde.

3.2. Modelændring p.g.a. målemetode

Den målemetode, vi benytter til at finde aerosolkoncentrationen, indebærer, at vi suger en del af luften i rummet gennem et filter, hvorved partiklerne fjernes fra luften. Dette er analogt med en deposition.

I målesituationen kan udtrykket for koncentrationsændringen i rum 1 derfor skrives

$$\frac{dN_1^m}{dt} = a_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0 + a_{21} \cdot N_2^m + a_{31} \cdot b_{31} \cdot N_3^m + b_{11} \cdot N_1^m - d_1 \cdot N_1^m - S_1 \cdot N_1^m \quad 3.2.1.$$

hvor indices m angiver koncentrationen i målesituationen, og S_j er den del af forureningen, indeholdt i et volumenelement i luften i rum j , der, pr. tidsenhed, udfældes på filteret.

Vi vil først betragte en situation, hvor vi har en konstant koncentration af forureningen i udeluften. Der vil da opstå en ligevægt hvor overføringsfaktoren for eksponeringen fra ude til

rum i vil være

$$D_{0i}(E) = \frac{N_i}{N_0} \quad 3.2.2.$$

hvor N_0 er koncentrationen ude og N_i er koncentrationen i rum i .

Tænk vi os skyen opdelt efter tidsintervaller Δt , må, på grund af superpositionsprincippet, en sådan delsky have samme overføringsfaktor som hele skyen.

Da enhver skyform kan opdeles i delskyer som ankommer med tidsintervaller Δt , vil enhver skyform have den for en "konstant" sky bestemte overføringsfaktor.

Overføringsfaktoren er altså karakteristisk for det enkelte rum i huset uafhængig af udekonzentrations tidslige variation.

3.3. Modellens brug i målesituationen

Under målingen kan vi betragte forholdene som næsten stabile, d.v.s. at koncentrationen i udeluften kun ændrer sig langsomt.

I de enkelte rum vil koncentrationen derfor også ændre sig langsomt.

$\frac{dN_i^m}{dt}$ og $\frac{dN_i}{dt}$ kan derfor sættes lig med 0.

De to ligninger (3.1.1) og (3.2.1) kan da omskrives som følger

$$a_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0 + a_{21} \cdot b_{21} \cdot N_2 + a_{31} \cdot N_3 + b_{11} \cdot N_1 - d_1 N_1 = 0 \quad 3.3.1.$$

$$a_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0 + a_{21} \cdot b_{21} \cdot N_2^m + a_{31} \cdot N_3^m + b_{11} \cdot N_1^m - d_1 N_1^m - S_1 N_1^m = 0 \quad 3.3.2.$$

Sættes ligningernes venstresider lig med hinanden og betegnes $(N_1 - N_1^m)$ med ΔN_1 , $N_2 - N_2^m$ med ΔN_2 o.s.v. fås

$$(b_{11} - d_1) \Delta N_1 + a_{21} \cdot b_{21} \cdot \Delta N_2 + a_{31} \cdot b_{31} \cdot \Delta N_3 = -S_1 \cdot N_1^m \quad 3.3.3.$$

Indsættes i ligningen (3.3.1) $N_1^m = N_0 \cdot D_{01}^m(E)$, hvor D_{01}^m er overføringsfaktoren for eksponeringsintegralet fra ude til rum 1 i målesituationen, fås

$$(b_{11} - d_1) \Delta N_1 + a_{21} \cdot b_{21} \cdot \Delta N_2 + a_{31} \cdot b_{31} \cdot \Delta N_3 = -S_1 \cdot N_0 \cdot D_{01}^m(E) \quad 3.3.4.$$

Den overføringsfaktor, vi søger at bestemme, er imidlertid overføringsfaktoren, hvor måleudstyret ikke griber ind,

$$\text{d.v.s. } D_{01}(E) = \frac{\int N_1 dt}{\int N_0 dt},$$

$D_{01}(E)$ kan også skrives som

$$D_{01} = \frac{\int (N_1^m + \Delta N_1) dt}{\int N_0 dt} = D_{01}^m + \frac{\int \Delta N_1 dt}{\int N_0 dt} = D_{01}^m + \Delta D_{01} \quad 3.3.5$$

$$\text{hvor } \Delta D_{01} = \frac{\int \Delta N_1 dt}{\int N_0 dt} ;$$

Integreres ligningen (3.3.2) over måleperioden fås

$$(b_{11} - d_1) \int \Delta N_1 dt + a_{21} \cdot b_{21} \cdot \int \Delta N_2 dt + a_{31} \cdot b_{31} \cdot \int \Delta N_3 dt = -S_1 D_{01}^m \int N_0 dt. \quad 3.3.6$$

Tilsvarende ligninger kan stilles op for de andre rum

$$\text{Divideres ligningerne med } \int N_0 dt, \text{ indsættes } \Delta D_{01} = \frac{\int \Delta N_1 dt}{\int N_0 dt}$$

og udvides til n rum fås følgende ligningssystem:

$$\begin{aligned} (b_{11} - d_1) \cdot \Delta D_{01} + a_{21} \cdot b_{21} \cdot \Delta D_{02} + \dots + a_{n1} \cdot b_{n1} \cdot \Delta D_{0n} &= -S_1 \cdot D_{01}^m \\ a_{12} \cdot b_{12} \cdot \Delta D_{01} + (b_{22} - d_2) \cdot \Delta D_{02} + \dots + a_{n2} \cdot b_{n2} \cdot \Delta D_{0n} &= -S_2 \cdot D_{02}^m \\ \vdots &\vdots \\ \vdots &\vdots \\ \vdots &\vdots \\ a_{1n} \cdot b_{1n} \cdot \Delta D_{01} + a_{2n} \cdot b_{2n} \cdot \Delta D_{02} + \dots + (b_{nn} - d_n) \cdot \Delta D_{0n} &= -S_n \cdot D_{0n}^m \end{aligned} \quad 3.3.7$$

hvor b_{ij} bestemmes ud fra luftskiftemålinger. S_i bestemmes ud fra sugeshastigheden, som den del af rummets volumen, der pr tidsenhed suges gennem opsamlingsfilteret, idet vi antager, at fil-

terets effektivitet kan sættes til 1, d.v.s. en fuldstændig filtrering af luften, der passerer filteret. d_i sættes lig med nul, idet vi antager at depositionshastigheden indendøre er så beskeden, at der i denne sammenhæng kan se bort fra den. Da D_{0i} er målt kan ΔD_{0i} og dermed D_{0i} bestemmes, hvis væggenes transmissionsfaktor α_{ij} kendes.

α_{ij} kan bestemmes ud fra en række målinger, hvor der på skift opstilles en aerosolkilde i de enkelte rum og forholdet mellem aerosolkoncentrationen i kilderummet og naborummene måles.

Disse målinger har vi ikke foretaget, idet det er tilstrækkeligt at bestemme yderværdierne af D_{0i} svarende til at α_{ij} alle sættes til 1, d.v.s. ingen filtrering i vægge, og at α_{ij} alle sættes til 0, d.v.s. fuldstændig filtrering.

Sættes $\alpha_{ij} = 0$ fås følgende ligningssystem til bestemmelse af de mindste korrektionsfaktorer ΔD_{0i}^{\min}

$$\begin{aligned} b_{11} \cdot \Delta D_{01}^{\min} &= -S_1 \cdot D_{01}^m \\ &\vdots \\ &\vdots \\ b_{nn} \cdot \Delta D_{0n}^{\min} &= -S_n \cdot D_{0n}^m \end{aligned} \quad 3.3.8$$

Ved indsættelse af $\alpha_{ij} = 1$ kan på tilsvarende måde opskrives et ligningssystem til bestemmelse af de største korrektionsfaktorer ΔD_{0i}^{\max}

$$\begin{aligned}
 & b_{11} \cdot \overset{\text{max}}{\Delta D_{01}} + b_{21} \cdot \overset{\text{max}}{\Delta D_{02}} + \dots + b_{n1} \cdot \overset{\text{max}}{\Delta D_{0n}} = -S_1 \cdot \overset{n}{D_{01}} \\
 & b_{12} \cdot \overset{\text{max}}{\Delta D_{01}} + b_{22} \cdot \overset{\text{max}}{\Delta D_{02}} + \dots + b_{n2} \cdot \overset{\text{max}}{\Delta D_{0n}} = -S_2 \cdot \overset{n}{D_{02}} \quad 3.3.9 \\
 & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 & b_{1n} \cdot \overset{\text{max}}{\Delta D_{01}} + b_{2n} \cdot \overset{\text{max}}{\Delta D_{02}} + \dots + b_{nn} \cdot \overset{\text{max}}{\Delta D_{0n}} = -S_n \cdot \overset{n}{D_{0n}}
 \end{aligned}$$

Når $\overset{\text{min}}{\Delta D_{0i}}$ og $\overset{\text{max}}{\Delta D_{0i}}$ er bestemt, er det interval hvori D_{0i} ligger, givet ved

$$\begin{aligned}
 & \overset{n}{D_{01}} + \overset{\text{min}}{\Delta D_{01}} \leq \overset{n}{D_{01}} \leq \overset{n}{D_{01}} + \overset{\text{max}}{\Delta D_{01}} \\
 & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 & \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 & \overset{n}{D_{0n}} + \overset{\text{min}}{\Delta D_{0n}} \leq \overset{n}{D_{0n}} \leq \overset{n}{D_{0n}} + \overset{\text{max}}{\Delta D_{0n}} \quad 3.3.10
 \end{aligned}$$

3.3.1. Eksempel på anvendelse af modellen

For det tidligere nævnte rækkehus er målt følgende overføringsfaktorer og S-værdier:

$$\begin{array}{ll}
 D_{O1}^m(E) = 0,31 & S_1 = 0,12 \text{ h}^{-1} \\
 D_{O2}^m(E) = 0,33 & S_2 = 0,09 \text{ h}^{-1} \\
 D_{O3}^m(E) = 0,46 & S_3 = 0,48 \text{ h}^{-1} \\
 D_{O4}^m(E) = 0,19 & S_4 = 0,27 \text{ h}^{-1} \\
 D_{O5}^m(E) = 0,19 & S_5 = 0,30 \text{ h}^{-1}
 \end{array}$$

Ved indsættelse i ligningssystemerne (3.3.8.) og (3.3.9.) findes.

$$\begin{array}{ll}
 \min \Delta D_{O1}(E) = 0,10 & \max \Delta D_{O1}(E) = 0,12 \\
 \min \Delta D_{O2}(E) = 0,03 & \max \Delta D_{O2}(E) = 0,04 \\
 \min \Delta D_{O3}(E) = 0,17 & \max \Delta D_{O3}(E) = 0,19 \\
 \min \Delta D_{O4}(E) = 0,07 & \max \Delta D_{O4}(E) = 0,08 \\
 \min \Delta D_{O5}(E) = 0,09 & \max \Delta D_{O5}(E) = 0,12
 \end{array}$$

$D_{O1}(E)$ kan da ifølge ulighederne (3.3.10) bestemmes som

$$\begin{array}{l}
 0,41 \leq D_{O1}(E) \leq 0,43 \\
 0,36 \leq D_{O2}(E) \leq 0,37 \\
 0,63 \leq D_{O3}(E) \leq 0,65 \\
 0,26 \leq D_{O4}(E) \leq 0,27 \\
 0,28 \leq D_{O5}(E) \leq 0,31
 \end{array}$$

Tænker vi os den tidligere nævnte situation, hvor vi åbner vinduer og døre en vis tid τ , efter passage af en "firkantsky", kan man bestemme overføringsfaktoren for eksponeringsintegralet som produktet af den netop bestemte overføringsfaktor, og den under afsnittet om ikke reaktive gasser bestemte overføringsfaktor i udluftningssituationen.

4. REAKTIVE STOFFER

Reaktive stoffer er stoffer som let deponeres på overflader på grund af stoffernes fysisk-kemiske forhold. Som eksempler på reaktive stoffer kan nævnes elementært jod (dampform) og svovldioxid.

Der er ikke blevet målt overføringsfaktor for reaktive stoffer i forbindelse med denne undersøgelse, men ud fra andre undersøgelser kan der skønnes over maksimumsværdier for overføringsfaktoren.

4.1. Den filtrerende virkning for reaktive stoffer

Ud fra teorien om filtre omtalt i afsnit 7 kan endvidere slutes at stoffer, som har en stor depositionshastighed også vil filtreres godt, idet det i det væsentlige er de samme processer, der er virksomme for filtrering og deposition.

Da depositionshastigheden for reaktive stoffer er større end for ikke reaktive partikler se f.eks. Roed (1981), hvor forholdet mellem depositionshastighederne antages at være en faktor ca. 5, vil boligens filtrerende virkning også være større for reaktive stoffer end for ikke reaktive partikler.

4.2. Indendørs deposition af reaktive stoffer

Som nævnt i 4.1. er depositionshastigheden for reaktive stoffer langt større end for ikke reaktive partikler. Det betyder, at deposition af reaktive stoffer kan have en reel betydning for koncentrationen indendøre i modsætning til, hvad der blev antaget for ikke reaktive stoffer.

4.3. Sammenligning af reaktive stoffer med ikke reaktive partikler

Da såvel den store filtrerende effekt (se afsnit 4.2.) som den større depositionshastighed af reaktive stoffer bidrager til at formindske indendørskoncentrationen, må det antages, at reaktive stoffer har en betydelig mindre overføringsfaktor end ikke reaktive partikler.

Dette støttes af de to undersøgelser, som er omtalt i afsnit 8.3, hvor indendørs/udendørs koncentrationsforholdene for henholdsvis jod og SO₂ er undersøgt. Disse undersøgelser har vist små værdier for overføringsfaktoren for reaktive stoffer.

5. MÅLINGERNE

5.1. Introduktion til målingerne

Lufttransmissionsmatricens koefficienter b_{ij} er afhængig af en række forhold som vindstyrke og retning, temperatur ude og inde samt formodentlig luftfugtigheden. Det samme gælder måske for husenes filtervirkning. Der er dog grund til at tro, at denne afhængighed er begrænset.

Den opstillede teori er kun gældende når filtervirkningen i hele måleperioden er uændret.

Måling af koncentrationerne i de forskellige rum har vist sig at volde uforudset store problemer, og det er først med de i måleserien senere målte huse, lykkedes at optage tilfredsstillende kurver for koncentrationen som funktion af tiden.

Nogle af de kurveformer, som blev målt er kurver hvor luftkoncentrationen inde i doseringsrummet stiger som funktion af tiden, eller er uændret over en længere periode. Dette strider mod fysiske love, og må altså tilskrives fejlkilder af forskellig art.

Et nødvendigt hånd på B-matricen er, at elementerne b_{ij} skal opfylde følgende betingelse:

$$\sum_{j=1}^{j=n} b_{ij} < 0. \quad 5.1.1$$

Hvis $\sum_{j=1}^{j=n} b_{ij} > 0$, vil det svare til, at der kommer

mere luft ind i doseringsrummet fra naborummene, end der ialt forsvinder ud i rummet, dette er naturligvis en fysisk umulighed. Målinger som frembringer en sådan ufysisk \bar{B} -matrice må derfor kasseres.

5.2. Målsætning

De mål der blev opstillet ved opgavens start kan skitseres som følger.

1. At opstille transportmatricen (\bar{B} -matricen) for luftskiftehastigheden for fire vindretninger med ca. 90° imellem.

2. At finde overføringsfaktoren for partikler ved en måling af partikelkoncentrationen inde og ude, og at korrigere den målte værdi for måleudstyrets indflydelse ved brug af de fundne \bar{B} -matricer, samt en af teknologisk institut opstillet empirisk formel, der angiver sammenhængen mellem luftskiftehastighed, vindhastighed og ude-inde-temperaturdifferensen.

3. At undersøge om rum i boligers læside har en mindre overføringsfaktor end rum i luvsiden.

4. At undersøge om der findes en sammenhæng mellem overføringsfaktoren for partikler og husets luftskiftehastighed (tæthed).

5. At undersøge om særlig utatte rum som bryggers, fyrrum, entre m.m. har en særlig høj overføringsfaktor.

6. At finde overføringsfaktoren under forhold hvor vinduer åbnes og lukkes på hensigtsmæssige tidspunkter.

Som beskrevet nedenfor måtte de opstillede mål modificeres.

5.3. Luftskiftemålinger.

Som angivet under målsætningen skulle luftskiftemålingerne have været foretaget for fire vindretninger, således at overføringsfaktor-målingerne for partikler kunne korrigeres ved at dele måleperioden for partikelmålingerne op i de perioder, hvor de forskellige vindretninger er fremherskende, og bestemme transferfaktorerne som fkt. af vindretningerne.

Det viste sig imidlertid at være en i praksis særdeles vanskelig opgave at få boligerne, der jo var beboede, fri til måling for fire vindretninger. Det blev derfor besluttet kun at foretage målinger af luftskiftet for to modsat rettede vindretninger. Imidlertid måtte en lang række af målingerne kasseres p.g.a. for-

skellige fejl, således at kun en af luftskiftemålinger som hovedregel er til rådighed for opstilling af \bar{B} -matricen.

Spørgsmålet om der i boligens læside-rum var en mindre transfer faktor for partikler end i rum i boligens luvside, blev i forbindelse med målinger undersøgt i bolig nr. 16.

Der blev ikke fundet en sådan effekt, og det blev derfor besluttet ikke at tilrettelægge de fortsatte målinger med henblik på en yderligere undersøgelse heraf.

Det blev senere besluttet at korrektionerne af overføringsfaktor-målingerne for partikler skulle ske direkte ud fra de foretagne luftskiftemålinger uden at korrigere for vindretning, temperaturdifferencer og vindhastighed. Denne beslutning blev taget efter en nøje analyse af luftskiftemålingerne, hvor det blev fastslået, 1) at de enkelte rums luftskifte med omgivelserne generelt var større end luftskiftet med naborum. 2) at en række af luftskiftemålingerne ikke kunne anvendes, således at det ville være nødvendigt at foretage et betydeligt antal nye målinger, hvis denne korrektion skulle foretages 3) at en sådan ommålingsrække næppe ville tilføre den endelige konklusion om husenes beskyttelsesvirkning afgørende nyt materiale og 4) at man ud fra de allerede optagne målinger kunne få rimelige svar på de i målsætningen stillede spørgsmål.

Det blev samtidig besluttet at nedsætte sugehastigheden ved de resterende partikelmålinger, således at korrektionerne på de målte overføringsfaktorer for partikler blev mindre. Skønt dette indebar, at usikkerheden på målingen af de på filtret opsamlede partikler blev væsentlig forhøjet på trods af en forlængelse af måletiden i Ge(Li)-detektoropstillingen på helt op til tre døgn pr. filter gav den ændrede sugehastighed en mere optimal måling.

5.4. Tracere i partikelkoncentrationsmålingerne

Partikelkoncentrationsmålingerne er foretaget på isotoperne beryllium-7 og ruthenium-103.

^{103}Ru stammer fra de kinesiske kernevåbensprængning i atmosfæren, og kan derfor kun måles i en vis periode efter at en sprængning har fundet sted.

Der findes derimod altid en vis koncentration af ^7Be i atmosfæren, idet ^7Be dannes ved spallationsprocesser forårsaget af den kosmiske stråling.

Den største del af ^7Be -koncentrationen i de jordnære luftlag er dannet i stratosfæren, men der dannes dog også en ringe mængde ^7Be ved jordoverfladen og altså også indendørs.

Det indendørs kildeled giver dog et så ringe bidrag til indendørs koncentrationen, at ^7Be i denne sammenhæng kan betragtes som et udefra kommende stof.

5.5. Partikelkoncentrationsmålingen

Koncentration i luften bestemmes ved at lade en del af den kontaminerede luft passere gennem et effektivt glasfiberfilter og måle såvel den partikelmængde, der opsamles på filteret, som det volumen luft, der passerer filteret.

Da koncentrationen i luften af både ^7Be og ^{103}Ru er ringe er det nødvendigt at udstrække opsamlingstiden til ca. 2 uger, for at få en tilstrækkelig mængde opsamlet på filteret. Dette skyldes, at sugeshastigheden indendøre ikke kan sættes vilkårligt højt, idet en stor sugeshastighed vil trykke partikelkoncentrationen så meget, at de korrektioner, der skal gives de målte koncentrationer for at kompensere for måleudstyrets indvirken, bliver meget store, og herved introduceres en usikkerhed på målingerne.

Sugeshastigheden må således vælges som et kompromis mellem kravet om en rimelig opsamlet partikelmængde og dermed en rimelig usikkerhed på mængdemålingen, og kravet om rimelige korrektioner på grund af måleudstyrets indgriben i indendørskoncen-

trationen og dermed en rimelig usikkerhed på koncentrationsmålingen.

Stofmængden måles ved hjælp af en Ge(Li)-detektor-opstilling. Måletiden for hver prøve har været mellem 1 og 3 døgn afhængig af den opsamlede mængde.

Opsamling af ^7Be i udeluft foregår dels umiddelbart uden for huset dels på et stort anlæg opstillet ved forsøgsanlæg Risø, således at udekonzentrationsmålinger her kan benyttes som erstatning for mislykkede udemålinger på den givne lokalitet, ligesom sammenligning mellem de to målinger giver et udtryk for usikkerheden.

5.5.1. Partikelmængdemålingerne

Blev foretaget på en Ge(Li)-detektoropstilling med en effektivitet på 10% i forhold til en 3" NaI-krystal, målt på en 1,33 MeV ^{60}Co linie. Opstillingen blev kalibreret absolut, for at man kunne sammenligne de på stedet foretagne målinger af radioaktivitetskoncentrationen i udeluft med de på Forsøgsanlæg Risø foretagne målinger af koncentrationen.

5.6. Usikkerheden på målingerne

Mængden af den radionuklidiske isotop blev målt ved i de karakteristiske toppe at fratrække baggrunden. Den relative usikkerhed på målingen beregnes ved hjælp af programmet STAT-DATA, til denne må lægges en relativ usikkerhed på ca. 5 % p.g.a. systematiske fejl som f.eks. kalibreringsfejl.

Da vi anvender forholdet mellem to målinger til at finde overføringsfaktoren, og da de systematiske fejl ved de to målinger går i samme retning, vil den systematiske fejl på absolutmålingerne få en begrænset indflydelse på bestemmelsen af overføringsfaktoren.

Udover usikkerheden ved målingerne fremkommer en usikkerhed i opgørelsen af den gennemstrømmede mængde. Denne usikkerhed er dog lille i sammenligning med de øvrige usikkerheder.

Derimod er usikkerheden på bestemmelse af \bar{B} -matricen stor, det skønnes af størrelsesordenen 50 %.

Usikkerheden på korrektionsfaktoren for overføringsfaktoren kan derfor være stor, i de tilfælde hvor sugenhastigheden er stor i forhold til luftskiftet.

Det må alt i alt skønnes at usikkerheden på overføringsfaktoren for partikler er af størrelsesordenen 50 %.

I vore målinger kan vi imidlertid ikke få øje på systematiske fejl, der kan bringe gennemsnittet af overføringsfaktorer til at ligge højere eller lavere end de udregnede, og da det netop er væsentligt at finde frem til gennemsnitsværdier for hustyper, rumtyper m.m er den store usikkerhed på de enkelte overføringsfaktorer ikke afgørende for konklusionerne.

Det må dog påpeges, at der må foretages et betydeligt større antal målinger, for at få en mere omfattende besvarelse af de i målsætningen opstillede spørgsmål.

5.7 Målingernes omfang

Der er målt på ialt 17 huse. Luftskiftehastighedsmålinger er dog kun foretaget på 16 af de 17 huse, idet to af husene havde ens beliggenhed og ens indretning, var bygget på samme

tid af samme håndværkere og ejet af samme ejer fra opførelses-tiden. For disse to huse er der anvendt de samme lufttransport-koefficienter.

En nærmere beskrivelse af de målte huse kan findes i Collet et al. (1982). I tabel (5.7) er angivet den nummerering af husene, der anvendes i denne rapport, husenes beliggenhed, samt de korrigerede luftskiftehastigheder, der svarer til en temperaturforskel over klimaskærmen på 17° , og en vindhastighed på 4,6 m/s i 10 m højde.

Sidst i rapporten er der udfærdiget et stamblad for hver bolig angivet ved boligens nr. På dette blad er vist boligens indretning i målesituationen, vindhastigheden i den periode, hvor overføringsfaktoren for partikler blev målt, middelvindhastigheden i perioden samt den gennemsnitlige udetemperatur. Såfremt der er flere måleperioder og flere forskellige indretninger af det samme hus, betegnes bladene med bogstaverne a, b, c osv..

Der er i forbindelse med stambladet vedhæftet en række tabeltyper, der betegnes med A, B og C.

I Tabel A er angivet lufttransportkoefficienterne.

Tabel B viser overføringsfaktorerne for en ikke reaktiv gas for de enkelte rum under forudsætning af en sky med konstant koncentration af tre timers varighed passerer boligen.

Overføringsfaktorerne er angivet for fire forskellige tidspunkter for udluftning nemlig netop når skyen har passeret boligen, 1/2 time efter skypassage, 1 time efter skypassage og endelig 1 1/2 time efter at skyen har passeret.

I tabel C er der for hvert rum, der er blevet målt, angivet rummets volumen, det gennemsnitlige flow gennem filtret i måleperioden, den målte overføringsfaktor, korrektionerne til den målte faktor og endelig det interval, hvori den korregerede overføringsfaktor ligger.

Tabel 5.7. Årsmidlet luftskiftehastighed for boligen som helhed, med åbne indvendige døre, (h^{-1}).

Bolig
nr.

16	Risø Huse 15, Roskilde (Gundsø)	0,09
13	Haraldsborgvej 19, Roskilde 1)	0,10
15	Risø Huse 19, Roskilde (Gundsø) 1)	0,15
14	Hedemøllevej 1, Roskilde	0,24
2	Risø Huse 37, Roskilde (Gundsø)	0,26
5	Haraldsborgvej 50, Roskilde	0,32
17	Haraldsborgvej 70, Roskilde 2)	0,32
1	Syvehøjvænget 226, Albertslund	0,40
7	Hasselstrædet 3 A, Ferslev	0,42
8	Bakkesvinget 4, Roskilde	0,42
11	Parkvej 129 3.th., Tåstrup *)	0,43
3	Løvsvinget 11, Virum	0,46
4	Hans Nielsensvej 1, Lumsås	0,62
6	Gl. Ringstedvej 20, Køge	0,74
12	Skodsborgvej 310 1.tv., Nærum *)	0,76
10	Christiansholms Parallelvej 7 2., Klampenborg*	1,30
9	Lynggården, Lumsås	2,14

Gennemsnitlig luftskiftehastighed for de 17 boliger = 0,54

1) ikke målt i de enkelte rum.

2) luftskiftet antaget som i Haraldsborgvej 50.
Husene er bygget og vedligeholdt ens.

*) Lejlighed

6. PARTIKELSTØRRELSEN

6.1. Partikelstørrelsens betydning

Overføringsfaktoren er afhængig af størrelsen af de partikler som det radioaktive materiale er bundet til. Dette skyldes, at såvel filtereffektiviteten som depositionshastigheden er afhængig af partiklernes størrelse.

6.2. Partikelstørrelsesspektret

Partikelstørrelsesspektret på den betragtede lokalitet er afhængig af partiklernes størrelsesfordeling ved kilden samt ændringen af spektret på partiklernes vej til lokaliteten.

6.3. Partikelstørrelsen ved udslip fra kernekraftværker

Der er indtil nu ikke forekommet kernenedsmeltningssuheld med store udslip af partikelformet forurening til følge.

Prognoser om, hvorledes partikelstørrelsesspektrer vil se ud når partiklerne frigøres fra containment til atmosfæren, må derfor basere sig på viden om deres opførsel under forhold, der svarer til et kernenedsmeltningssuheld.

Partiklernes dannelsesstørrelse antages at være lille når de frigives fra smelten (kernen), således har H. Albrecht og H. Wild (1982) beregnet at frigivelsesprodukterne efter ca. 3 sec. transporttid har en medianværdi på 0,1 μm når antalfordelingen betragtes og 0,5 μm når man ser på massefordelingen.

Sandsynligheden for at frigørelsesprodukterne bliver frigivet til atmosfæren umiddelbart efter et kernenedsmeltningssuheld er imidlertid særdeles ringe. Partiklerne må antages at opholde sig i containment i kortere eller længere tid, herved vil størrelsesfordelingsspektret kunne ændres og efter en vis tid vil der opstå en ligevægt. Denne ligevægt er bestemt af koagulationshastigheden, det vil sige den del af partikler

med en bestemt størrelse der, pr. tidsenhed, slutter sig sammen med andre partikler, og af depositionshastigheden.

Udviklingen hen mod ligevægt kan beskrives på følgende måde:

Partiklerne er ved dannelsen små og koncentrationen af partiklerne er stor, men da koagulationshastigheden er stor for små partikler og stor koncentration, vil partiklerne hurtigt vokse sig større. Koncentrationen af partikler bliver herved mindre, samtidig vil partiklerne blive større og begge forhold er med til at nedsætte koagulationshastigheden. Da depositionshastigheden har et minimum for partikler i området mellem 0,1-2 μm , vil depositionsprocesserne medvirke til at gennemsnitsstørrelsen ved ligevægtsstørrelsesfordelingen ligger i dette interval.

Bunz (1980) har set på partiklernes størrelsesfordeling i kontainment, som funktion af tiden efter frigørelsen fra brandslet til kontainment, i en 1300 MWe tysk trykvandsreaktor.

I rapporten er behandlet tre forskellige frigørelsesscenarier, et scenarie hvor der til kontainment frigøres 1000 kg af kernen, d.v.s. ca. 1 % af kernen, et scenarie hvor der antages en frigørelse på 72 kg og endelig et hvor frigørelsen er 72 g.

I alle scenarier antages at der umiddelbart efter frigørelsen er en log-normal partikelstørrelsesfordeling. De tre scenarier gennemregnes først med antagelsen af, at det geometriske gennemsnit af partikelstørrelsen ved frigørelsen er 0,2 μm , og dernæst med antagelse af en gennemsnitsstørrelse på 0,6 μm .

I de forskellige scenarier blev det geometriske gennemsnit af partikelstørrelsen beregnet som funktion af den tid de har opholdt sig i kontainment. Fig. 6.3.1 viser resultaterne.

Det bemærkes at middelstørrelsen ikke i noget af scenarierne overstiger 3,5 μm .

På vejen fra kontainment til den betragtede lokalitet vil størrelsesspektret ændres, idet de store partikler ($> 2 \mu\text{m}$) deponeres hurtigere på grund af sedimentation end partikler med

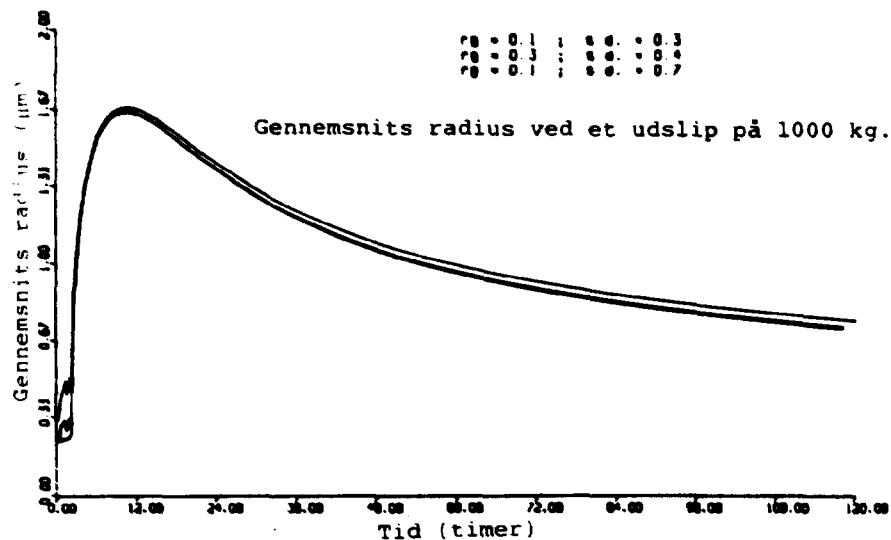
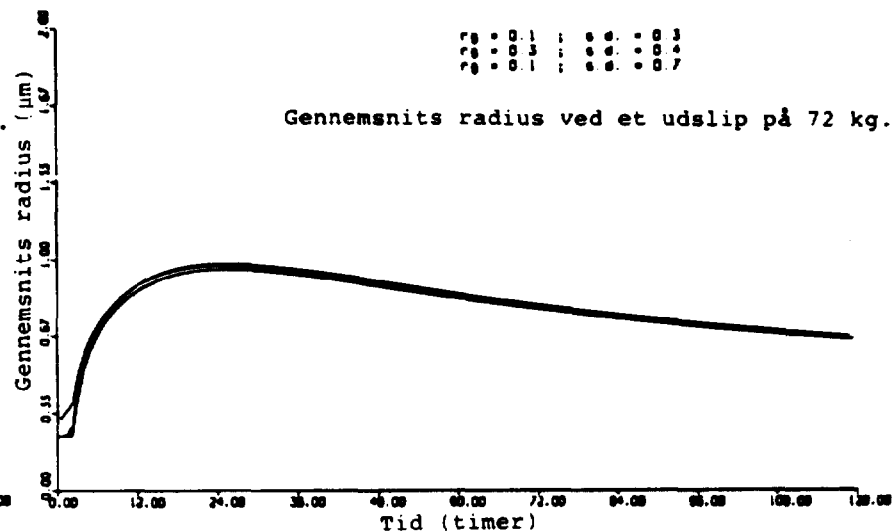
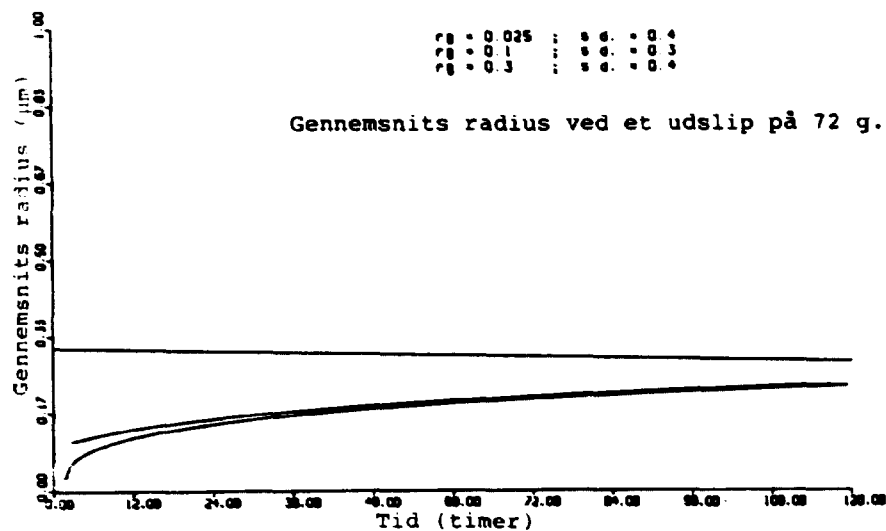


Fig. 6.3.1

Gennemsnitsradius for partikler i kon-
 tainment som fkt. af opholdstiden.
 Aerosolen antages til tiden 0 at være
 normalfordelt med gennemsnitsradius
 r_0 og standardafvigelse s.d. (fra H.
 Bunz, M. Koyro, W. Schöck: Influence
 of the Source Term Parameters on Aero-
 sol behaviour in Core Melt Down Acci-
 dents in LWRS).

størrelse fra 0,05 μm til 2 μm (Roed 81). D.v.s. jo længere tid partiklerne har bevæget sig jo mere forskyder partikelspektret sig mod en middelværdi, der ligger i området mellem 0,05 μm og 2 μm .

Hovedparten af partiklerne der når lokaliteter beliggende nogle km fra reaktoren kan således antages at have størrelser, der ligger mellem 0,05 og 2 μm .

6.4. Størrelsen af ruthenium-partikler

Størrelsesfordelingen af partikler fra kinesiske kernevåbensprængninger er blevet undersøgt af Jan Sisefsky (1980). Han fandt at størrelsen af friske fissionsprodukter er stærkt afhængig af hvilken radioaktiv isotop der er undersøgt.

De partikler hvortil ruthenium er knyttet er forholdsvis små ~ 0,2 μm .

6.5. Størrelsen af beryllium-partikler

^7Be -partiklernes størrelsesfordeling er ikke blevet undersøgt.

Størrelsesfordelingen må derfor estimeres ud fra den viden, der er tilgængelig i forbindelse med partiklernes opførsel i atmosfæren samt deres dannelsesmekanisme. ^7Be -partiklerne antages ved dannelsen at være meget små, da denne foregår ud fra små molekyler. De oprindelige små partikler antages dog meget hurtigt at blive større på grund af koagulation, og efter kort tids ophold i atmosfæren at bevæge sig ind i akkumulationsbåndet hvor middelstørrelsen er omkring 0,2 μm . (Willeke 1974, Whitby 1978).

6.6. Partikelstørrelsens betydning for transferfaktoren

Filtrering af fine partikler afhænger især af partiklernes inertie, de Brownske bevægelser og direkte sammenstød.

For partikler der er større end 6 μm kan tyngdekraften blive af betydning for depositionen.

Andre mekanismer kan spille en rolle, men deres effekt er normalt ringe.

Lufthastigheden gennem et filter er sædvanligvis lav, og man kan derfor indskrænke sig til at se på et jævnt flow omkring filterets fibre.

De væsentligste faktorer i filtrering er

a. Inerti.

Figur 6.6.1 viser flow-linierne omkring en lang cirkulær cylinder vinkelret på flowets retning. En tung partikel, der nærmer sig cylinderen vil ikke følge flowlinierne, men vil skyde genvej og dermed have en større chance for at ramme fibre.

Afvigelsen fra flowlinien vil, alt andet lige blive større når partiklerne bliver tungere og får større hastigheder.

b. Sammenstød.

Hvis centret af partiklen med radius r_p er knyttet til en flowlinie, som går nærmere på fibren end r_p , vil partiklen blive fanget ved sammenstøddet. Sammenstød er derfor en vigtig mekanisme for partikler med store radier og er uafhængig af hastigheden, undtaget hvis flowmønsteret skifter med hastigheden.

c. Diffusion.

For små partikler er de Brownske bevægelser vigtige. Disse bevægelser forårsager at partiklernes bane afviger fra flowlinierne. Chancen for store afvigelser bliver større jo mindre partiklerne er og jo længere tid de befinder sig i filteret.

Jo mere voldsomme bevægelser desto større er sandsynligheden for at partiklerne rammer en fiber og opsamles.

Forøgelsen af de Brownske bevægelser for små partikler gør at partikler under $0,1 \mu\text{m}$ antages at opsamles mere effektivt end noget større partikler. Da virkningen af både inertie og sammenstød og dermed opsamlingen forøges med partikelstørrelsen, leder det til en formodning om at der må findes en partikelstørrelse, som har en maksimal gennemtrængsevne gennem filteret.

Denne formodning bekræftes af målinger: White og Smith (1964) konkluderer således på grundlag af en række målinger foretaget af forskellige eksperimentatorer, at størrelse for maksimal gennemtrængelighed normalt ligger i området mellem $0,1$ og $0,3 \mu\text{m}$.

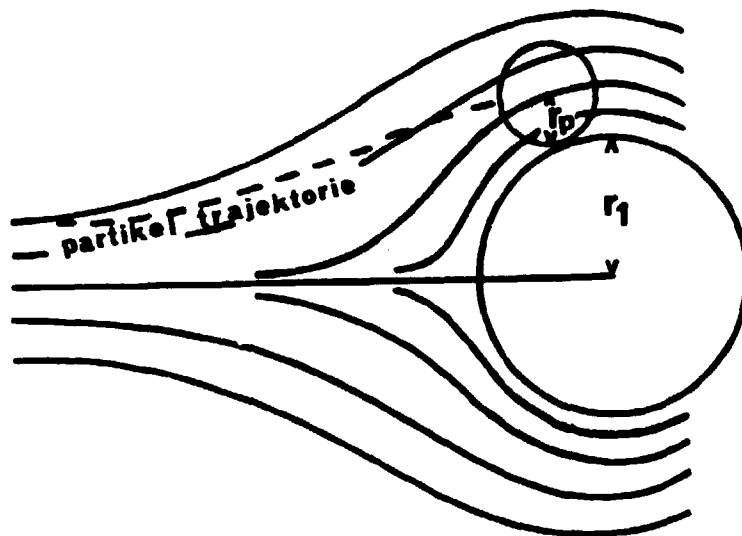


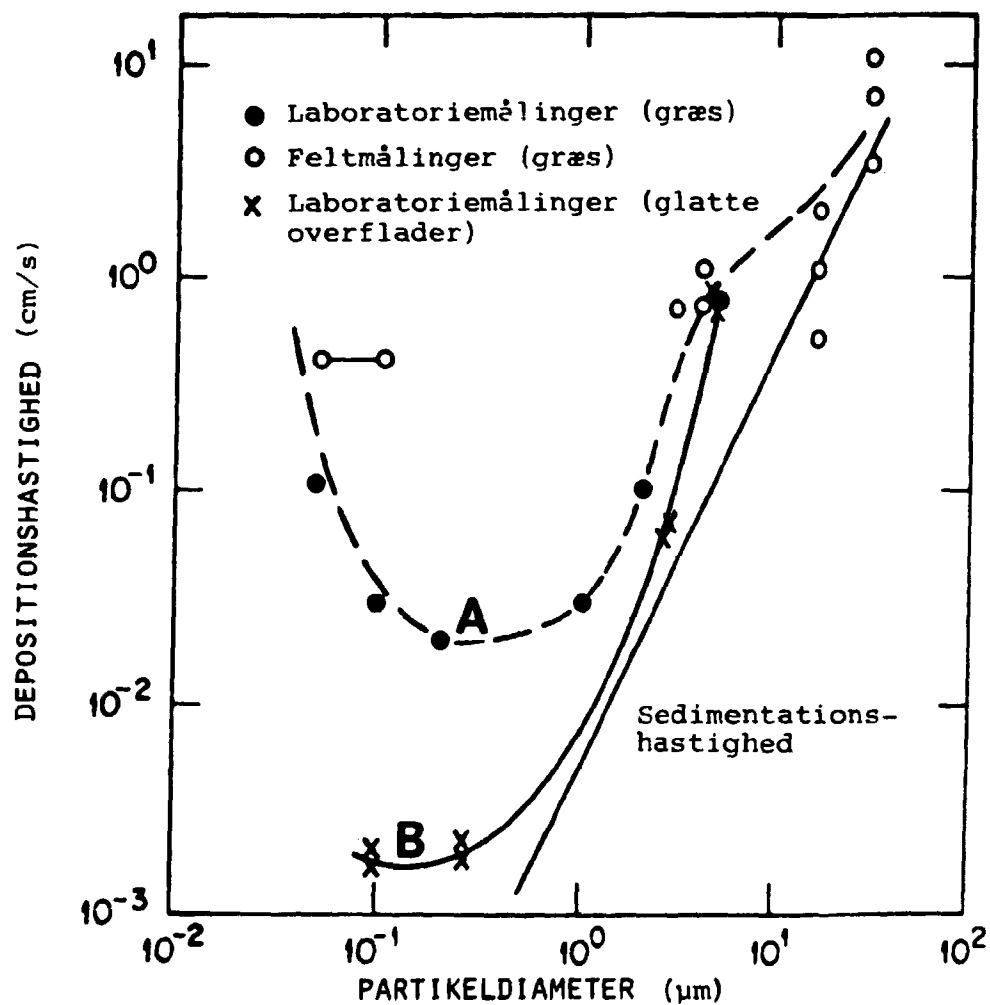
Fig. 6.6.1. Flow-linierne omkring en lang cirkulær cylinder vinkelret på flowets retning.

Depositionshastigheden for partikler (se fig. 6.6.2) har et minimum i størrelsesområdet for den maksimale gennemtrængelighed for filtre. Dette er ikke overraskende, idet det er de samme mekanismer, inert, stød, Brownske bevægelser og sedimentation, der er virksomme for såvel deposition som for filtrering.

Depositionshastighed og filtereffektiviteten har således et minimum i det størrelsesområde, hvor vi antager ^7Be -partiklerne og ^{106}Ru -partiklerne befinder sig.

Dette betyder at partikler, der er væsentlig større eller væsentlig mindre end disse, vil deponere hurtigere og filtreres mere effektivt, således at overføringsfaktoren vil formindskes.

Det må således konkluderes, at de målte transferfaktorer ligger nær de maksimalt opnåelige.



Kurve A. Laboratorie- og feltmålinger af depositions-
hastigheder af partikler på græs (fra McMahon
og Denison 1979).

Kurve B. Laboratoriemålinger af depositions-
hastigheden på glatte overflader
(fra McMahon og Denison 1979).

Fig. 6.6.2

7. MEKANISK RENSNING AF INDELUFTE

7.1. Muligheder

En mekanisk rensning af indeluften må, hvis den skal være anvendelig i en uheldssituation foregå ved hjælp af midler, der er til rådighed i en normal bolig.

To muligheder forekommer nærliggende, den ene er at rense luften ved hjælp af en håndbruser, den anden er at benytte en husholdningsstøvsuger.

Den førstnævnte mulighed er næppe af stor virkning, idet den luftmængde, der kan renses er beskeden. I denne undersøgelse koncentrerer vi os derfor om at undersøge en støvsugers virkning

7.2. Model for støvsugervirkning

Tager vi som tidligere udgangspunkt i en trerumsmodel, kan der opskrives et udtryk for ændringen af aerosolkoncentrationen i rummene.

For rum 1 gælder ligningen (3.1.1.)

$$\frac{dN_1}{dt} = \alpha_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0 + \alpha_{21} \cdot b_{21} \cdot N_2 + \alpha_{31} \cdot b_{31} \cdot N_3 + b_{11} \cdot N_1 - d_1 \cdot N_1 \quad 7.2.1$$

hvor α_{01} er transmissionsfaktoren fra ude til rum 1, α_{21} er transmissionsfaktoren gennem begrænsningen mellem rum 2 og 1, osv. (Transmissionsfaktoren angiver den del af forureningen i den transporterede luft, der forbliver i luften under transporten fra et rum til et andet), transportkoefficienten b_{01} er den del af luften i rum 1, som pr. tidsenhed udskiftes med luft, der passerer gennem begrænsningen mellem rum 1 og ude, uden at passere andre rum på vejen til rum 1, transportkoefficienten b_{21} angiver den brøkdél af luften i rum 1, der pr. tidsenhed udskiftes med luft fra rum 2 ved passage gennem begrænsningen mellem rum 1 og rum 2 osv, og transportkoefficienten b_{11}

angiver den brøkdel af luften i rum 1 som pr. tidsenhed tilføres rummet fra omgivelserne, dvs. fra ude og fra naborum.

Tænkes en støvsuger placeret i rum 1, kan der opstilles en ny ligning.

$$\frac{dN_1^{s_1}}{dt} = a_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0 + a_{21} \cdot b_{21} \cdot N_2^{s_1} + a_{31} \cdot b_{31} \cdot N_3^{s_1} + b_{11} \cdot N_1^{s_1} - d_1 \cdot N_1^{s_1} - S_1 \cdot N_1^{s_1} \quad 7.2.2$$

hvor $N_1^{s_1}$, $N_2^{s_1}$ og $N_3^{s_1}$ er koncentrationen af partikler i rummene, når støvsugeren er anbragt i rum 1. S_1 er den brøkdel af forureningen i rum 1, der pr. tidsenhed tilbageholdes i støvsugeren.

$$S_1 = f \cdot \frac{U_s}{V_1}, \text{ hvor } f \text{ er støvsugerens filtereffektivitet, dvs.}$$

den brøkdel af forureningen som tilbageholdes når luften passerer gennem støvsugeren. U_s er støvsugerens sugenhastighed, dvs. det luftvolumen, som passerer støvsugeren pr. tidsenhed, og V_1 er volumen af rum 1.

Antager vi, at der er stabile forhold, vil $\frac{dN_1}{dt}$ og $\frac{dN_1^{s_1}}{dt}$ være lig med nul, og ligningerne (7.2.1) og (7.2.2) kan da skrives

$$a_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0 + a_{21} \cdot b_{21} \cdot N_2 + a_{31} \cdot b_{31} \cdot N_3 + b_{11} \cdot N_1 - d_1 \cdot N_1 = 0 \quad 7.2.3$$

$$a_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0 + a_{21} \cdot b_{21} \cdot N_2^{s_1} + a_{31} \cdot b_{31} \cdot N_3^{s_1} + b_{11} \cdot N_1^{s_1} - d_1 \cdot N_1^{s_1} - S_1 \cdot N_1^{s_1} = 0 \quad 7.2.4$$

Sættes ligningernes venstresider lig med hinanden og betegnes

$(N_1 - N_1^{s_1})$ med $\Delta N_1^{s_1}$, $(N_2 - N_2^{s_1})$ med $\Delta N_2^{s_1}$ osv. fås

$$(b_{11} - d_1) \Delta N_1^{s_1} + a_{21} \cdot b_{21} \cdot \Delta N_2^{s_1} + a_{31} \cdot b_{31} \cdot \Delta N_3^{s_1} = -S_1 \cdot N^{s_1} \quad 7.2.5$$

Ud fra definitionen af overføringsfaktoren fås $N_1^{s_1} = N_0 \cdot D_{01}^{s_1}$,

hvor $D_{01}^{s_1}$ er overføringsfaktoren for eksponeringsintegralet fra ude til rum 1, når der er anbragt en tændt støvsuger i rum 1.

Indsættes dette udtryk i ligning (7.2.5) fås

$$(b_{11} - d_1) \cdot \Delta N_1^{s_1} + a_{21} \cdot b_{21} \cdot \Delta N_2^{s_1} + a_{31} \cdot b_{31} \cdot \Delta N_3^{s_1} = -S_1 \cdot N_0 \cdot D_{01}^{s_1} \quad 7.2.6$$

D_{01} kan også skrives som

$$D_{01} = \frac{\int N_1^{s_1} dt}{\int N_0^{s_1} dt} = \frac{\int (N_1^{s_1} + \Delta N_1^{s_1}) dt}{\int N_0^{s_1} dt} = \frac{\int N_1^{s_1} dt}{\int N_0^{s_1} dt} + \frac{\int \Delta N_1^{s_1} dt}{\int N_0^{s_1} dt} = D_{01}^{s_1} + \Delta D_{01}^{s_1} \quad (7.2.7.)$$

Udtrykket (7.2.7.) indsættes i ligning (7.2.6). Dernæst tidsintegreres og divideres igennem med $\int N_0^{s_1} dt$, hvorved følgende ligning fremkommer

$$(b_{11} - d_1) \cdot \Delta D_{01}^{s_1} + a_{21} \cdot b_{21} \cdot \Delta D_{02}^{s_1} + a_{31} \cdot b_{31} \cdot \Delta D_{03}^{s_1} = -S_1 (D_{01} - \Delta D_{01}^{s_1}) \quad 7.2.8$$

der også kan skrives som

$$(b_{11} - d_1 - S_1) \Delta D_{01}^{s_1} + \alpha_{21} b_{21} \cdot \Delta D_{02}^{s_1} + \alpha_{31} b_{31} \cdot \Delta D_{03}^{s_1} = -S_1 \cdot D_{01} \quad 7.2.9.$$

For rum 2 og rum 3 kan på tilsvarende måde opskrives følgende ligninger, idet det erindres at S_2 og $S_3 = 0$

$$\alpha_{12} \cdot b_{12} \cdot \Delta D_{01}^{s_1} + (b_{22} - d_2) \Delta D_{02}^{s_1} + \alpha_{32} \cdot b_{32} \cdot \Delta D_{03}^{s_1} = 0 \quad 7.2.10.$$

$$\alpha_{13} \cdot b_{13} \cdot \Delta D_{01}^{s_1} + \alpha_{23} \cdot b_{23} \cdot \Delta D_{02}^{s_1} + (b_{33} - d_3) \Delta D_{03}^{s_1} = 0 \quad 7.2.11.$$

Såfremt støvsugeren anbringes i rum 2 kan et tilsvarende ligningssystem opskrives.

Som nævnt i kapitel 3 er koefficienterne α_{ij} ikke bestemt og d sættes lig med 0 for partikler. Ved at tildele α_{ij} værdien 1 henholdsvis nul, kan $\Delta D_{0i}^{s_j}(\max)$ og $\Delta D_{0i}^{s_j}(\min)$ og dermed $D_{02}^{s_j}(\max)$ og $D_{02}^{s_j}(\min)$ bestemmes, idet D_{0i} er bestemt ud fra filtermålingerne, og $S_i = f \cdot \frac{U_s}{V_i}$ kan bestemmes ud fra måling af filtereffektiviteten, f , af rummets volumen, V_i , og af støvsugerens sugenhastighed, U_s .

I det foregående er forudsat, at der hersker sådanne forhold, at

$$\frac{dN_1}{dt} \text{ og } \frac{dN_1^s}{dt}$$

kan sættes til nul. Denne forudsætning gælder ikke, når der luftes ud efter skypassage.

I tilfælde af udluftning må ligningssystemerne løses eksakt. Vi vil her kun opstille et udtryk for den faktor, hvormed dosis uden støvsuger skal korrigeres for at få dosis med støvsuger, under forudsætning af fuldstændig filtrering gennem indre døre. Denne faktor svarer til den mindst mulige korrektion og altså den størst mulige indendørsdosis.

Ligningerne (7.2.1.) og (7.2.2.) kan nu reduceres til

$$\frac{dN_1}{dt} = \alpha_{01} b_{01} \cdot N_0 + b_{11} \cdot N_1 \quad 7.2.12.$$

$$\frac{dN_1}{dt} = \alpha_{01} b_{01} \cdot N_0 + (b_{11} - s_1) N_1 \quad 7.2.13.$$

idet depositionshastighed sættes til 0.

Skypassagetiden er τ_1 timer og udluftningen sker τ_2 timer efter skypassagen. Tiden for skyens ankomst sættes til 0.

Først beregnes koncentrationen N_1 som fkt. af tiden i intervallet

$$0 \leq t \leq \tau_1$$

ligning(7.2.12.) løses, og det benyttes at $N_1=0$ for $t=0$.

$$N_1 = - \frac{\alpha_{01} b_{01} \cdot N_0}{b_{11}} (1 - e^{b_{11} \cdot t}) \quad 7.2.14.$$

På skypassagetidspunktet $t = \tau_1$ fås, idet τ_1 indsættes i ligning (7.2.14.)

$$N_1(\tau_1) = - \frac{a_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0}{b_{11}} (1 - e^{b_{11} \cdot \tau_1}) \quad 7.2.15$$

Efter skypassage-tidspunktet d.v.s. for $\tau_1 < t < \tau_1 + \tau_2$ er udekonzentrationen $N_0 = 0$ (7.2.12.) reduceres da til

$$\frac{dN_1}{dt} = b_{11} \cdot N_1 \quad 7.2.16$$

Denne ligning løses, idet det tages i betragtning, at koncentrationen til tiden $t = \tau_1$ er givet ved udtrykket (7.2.15.)

$$N_1 = - \frac{a_{01} b_{01} \cdot N_0}{b_{11}} (1 - e^{b_{11} \cdot \tau_1}) e^{b_{11}(t - \tau_1)} \quad 7.2.17$$

Eksponeringsintegralet kan nu findes som

$$\int_0^{\tau_1 + \tau_2} N_1 dt = \int_0^{\tau_1} - \frac{a_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0}{b_{11}} (1 - e^{b_{11} \cdot t}) dt +$$

$$\int_0^{\tau_2} - \frac{a_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0}{b_{11}} (1 - e^{b_{11} \cdot \tau_1}) \cdot e^{b_{11} t} dt =$$

$$\left[- \frac{a_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0}{b_{11}} \cdot \left(t - \frac{e^{b_{11} t}}{b_{11}} \right) \right]_0^{\tau_1} +$$

$$\left[- \frac{a_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0}{b_{11}} (1 - e^{b_{11} \cdot \tau_1}) e^{\frac{b_{11} t}{b_{11}}} \right]_0^{\tau_2} =$$

$$- \frac{a_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0}{b_{11}} \left[b_{11} \cdot \tau_1 + e^{b_{11} \cdot \tau_2} - e^{b_{11}(\tau_2 + \tau_1)} \right] \quad 7.2.18$$

og tilsvarende for

$$\int_0^{\tau_1+\tau_2} N_1 dt = \frac{a_{01} \cdot b_{01} \cdot N_0}{b_{11}-S_1} \left[\tau_1 + (1-e^{(b_{11}-S_1)\tau_1}) \cdot \frac{e^{(b_{11}-S_1)\tau_2}}{b_{11}-S_1} \right]$$

$$\int_0^{\tau_1+\tau_2} N_1 dt = \frac{(a_{01} \cdot b_{01} N_0)}{(b_{11}-S_1)^2} \left[(b_{11}-S_1)\tau_1 + e^{(b_{11}-S_1)\tau_2} - e^{(b_{11}-S_1)(\tau_1+\tau_2)} \right]$$

7.2.19.

korektionsfaktoren F, findes nu ud fra (7.2.18) og (7.2.19) som

$$F = \frac{\int_0^{\tau_1+\tau_2} N_1 dt}{\int_0^{\tau_1+\tau_2} N_1 dt} = \frac{b_{11}^2 \left[(b_{11}-S_1)\tau_1 + e^{(b_{11}-S_1)\tau_2} - e^{(b_{11}-S_1)(\tau_1+\tau_2)} \right]}{(b_{11}-S_1)^2 \left[b_{11}\tau_1 + e^{b_{11}\tau_2} - e^{b_{11}(\tau_1+\tau_2)} \right]}$$

7.2.20.

7.3. Simpelt eksempel på støvsugers virkning

Antager vi en trerumsmodel, hvor transportkoefficienten er

$$\begin{Bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0,5 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & -0,5 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & -0,5 \end{Bmatrix}$$

Og antager vi, at rum 1, hvori vi placerer støvsugeren har et volumen på 50 m^3 , at støvsugerens sugehastighed er $60 \text{ m}^3/\text{h}$, og at filtereffektiviteten er $5/6$, kan S_1 udregnes til at være 1h^{-1} .

Ved indsættelse i ligningerne (7.2.9.), (7.2.10.) og (7.2.11.) fås

$$(-0,5-1) \overset{s1}{\Delta D_{01}} + 0,1 \cdot \alpha_{21} \cdot \overset{s1}{\Delta D_{02}} + 0,1 \cdot \alpha_{31} \cdot \overset{s1}{\Delta D_{03}} = -1 \cdot D_{01}$$

$$\alpha_{12} \cdot 0,1 \cdot \overset{s1}{\Delta D_{01}} - 0,5 \overset{s1}{\Delta D_{02}} + 0,1 \cdot \alpha_{32} \cdot \overset{s1}{\Delta D_{03}} = 0$$

$$\alpha_{13} \cdot 0,1 \cdot \overset{s1}{\Delta D_{01}} + 0,1 \alpha_{23} \cdot \overset{s1}{\Delta D_{02}} - 0,5 \cdot \overset{s1}{\Delta D_{03}} = 0$$

Indsættes henholdsvis $\alpha_{ij} = 1$ og $\alpha_{ij} = 0$ fås

$$0,31 D_{01} \leq \overset{s1}{D_{01}} \leq \frac{1}{3} D_{01}$$

$$D_{02} - 0,17 D_{01} \leq \overset{s1}{D_{02}} \leq D_{02}$$

$$D_{03} - 0,17 D_{01} \leq \overset{s1}{D_{03}} \leq D_{02}$$

De indsatte værdier er typiske værdier.

7.4. Måling af støvsugers filtereffektivitet

Filtereffektiviteten af en støvsuger er, som for et filter, defineret som forholdet mellem den aktivitet, der tilbageholdes i støvsugeren, og den aktivitet, der var i luften før den passerede støvsugeren.

7.4.1. Måleopstilling

Princippet i målingen er, at indholdet af ^7Be måles før og efter passage af støvsugeren. Hertil benyttes en opstilling, som skitseret i fig. 7.4.1.

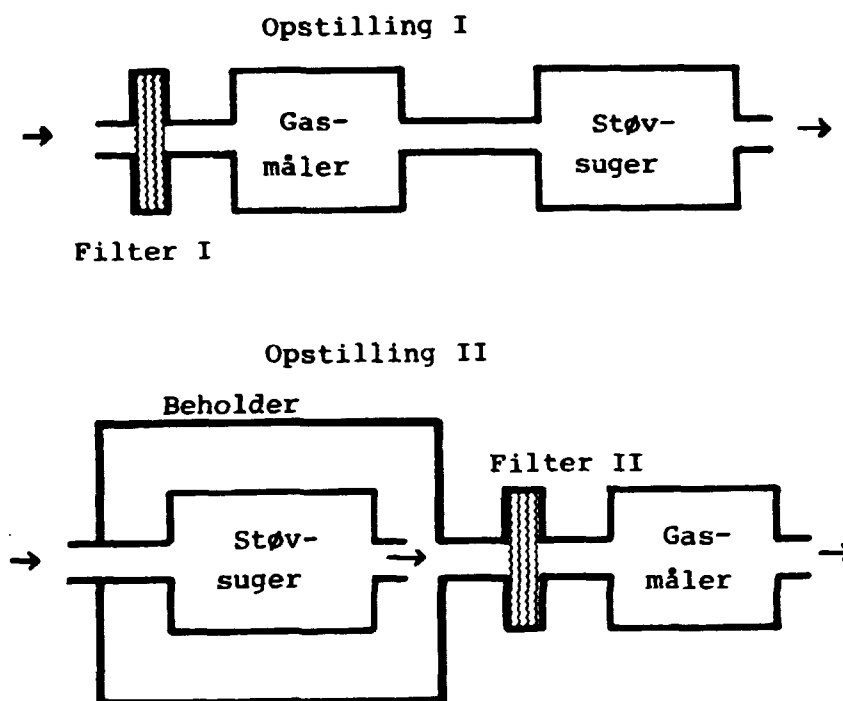


Fig. 7.4.1.

Opstilling I og II har indtag fra samme sted.

De to støvsugere tændes og slukkes samtidig.

Ved måling af mængden af ^7Be på filter I kan indholdet af ^7Be pr. rumfangsenhed i luften før passage bestemmes.

Mængden af ^7Be i udblæsningsluften bestemmes ved måling af filter II.

Når aktiviteten pr. volumenenhed af indsugningsluften er A_I og den tilsvarende aktivitet i udblæsningsluften er A_{II} fås

$$f = \frac{A_I - A_{II}}{A_I}$$

Måleperiode	Filter I $\mu\text{Be}^7\text{Bq m}^{-3}$	Filter II $\mu\text{Be}^7\text{Bq m}^{-3}$	Effektivitet f
21/6 - 4/7-83	71,18	1902,06	0,963
11/7 - 18/7-83	104,83	2858,46	0,963
2/8 - 8/8-83	74,40	1401,12	0,947
8/8 - 15/8-83	36,36	1966,91	0,982
15/8 - 22/8-83	30,59	1232,62	0,975

Tabel 7.4.1

Herved fås en gennemsnitlig effektivitet på 0,97.

Den anvendte støvsuger er af mærket Elektrolux model 3182 forsynet med en original pose. Før målingerne blev støvsugeren brugt en uge i rengøringen i en normal husholdning, således at posen var i en "normal"-tilstand.

Flowet i støvsugeren, når den blev stillet til maksimal sugehastighed, var 1000 l/min.

8. OVERSIGT OVER RELEVANTE UNDERSØGELSER

8.1. Indledning

De fleste undersøgelser af forholdet mellem indendørs og udendørs forurening er foretaget for at kortlægge niveauerne i en normal situation hvor beboerne fortsætter deres normale levevaner med f.eks. udluftning og passage ind og ud af yderdøre.

Alene af denne grund er det vanskeligt ud fra disse undersøgelser at udlede noget om indendørs/udendørs-forholdet under de betingelser, der er relevante for vort formål, som er at finde forholdet mellem indendørs og udendørs forurening ved den lavest mulige ventilation, d.v.s. med vinduer og døre lukkede og al tvungen ventilation afbrudt.

Det forhold at en indendørs forurening også kan have en indendørs kilde er en anden grund til at en række undersøgelser af indendørs/udendørs koncentrationsforholdet ikke kan anvendes i vor undersøgelse. Det gælder f.eks. SO_2 forurening som ofte har en indendørs kilde ud over den udendørs.

Nogle få undersøgelser er dog foretaget, således at de kan give vigtige informationer om den overføringsfaktor, vi interesserer os for i denne forbindelse. Disse undersøgelser er gennemgået i afsnit 10.2 (ikke reaktive partikler) og 10.3 (reaktive stoffer).

8.2. Partikler

8.2.1. Hartford Connecticut undersøgelsen .

I denne undersøgelse (Ycom et al 1971) blev der på filtre opsamlet aerosol-partikler i perioder af 12 timer i dag- og nattimerne.

Der blev opsamlet i fire punkter for hver bygningstype, to ude og to inde. Der blev målt på tre forskellige typer bygninger: offentlige bygninger, kontorbygninger og private boliger.

Offentlige bygninger

To offentlige bygninger blev undersøgt, den ene er Hartford offentlige bibliotek, der er bygget over en fire-sporet vej. Den anden er Hartford rådhus som ligger adskilt fra biblioteket af en tæt trafikeret vej. Ingen af bygningerne er air-conditionerede.

Kontorer

To kontorbygninger er undersøgt. Den ene er en seks-etagers bygning, beliggende Constitution Plaza 250 (250 CP). Den er bygget direkte over en, delvis under jorden, beliggende parkeringskælder i fire plan og forbundet med parkeringskælderen ved trappe- og elevatorskakte. Den anden er en 16-etagers bygning på 100 CP, der ikke er bygget over en parkeringskælder.

Begge bygninger er airconditionerede og har derfor ingen åbne vinduer.

Private boliger

I denne kategori er undersøgt to boliger. Den ene ligger på Carroll Road på den ene side af en befærdet hovedvej. Den anden ligger på den anden side af hovedvejen på Blinn Street. Ingen af husene er air-conditionerede.

Resultaterne af undersøgelsen er vist i tabel 8.2.1.

Indendørs/udendørs forholdet af partikelkoncentrationen
på visse lokaliteter i Hartford, Connecticut

Lokalitet	Sommer		Efterår		Vinter	
	Dag	Nat	Dag	Nat	Dag	Nat
Bibliotek	0.50	0.52	0.38	0.44	0.16	0.26
City Hall	0.51	0.63	0.62	0.53	0.27	0.30
100 CP	0.48	0.49	0.75	0.71	0.31	0.48
250 CP	0.45	0.55	0.58	0.50	0.33	0.33
Blinn Street	0.87	0.86	0.56	0.61	0.43	0.41
Carroll Road	1.15	0.84	0.97	0.62	0.51	0.39

Tabel 8.2.1

I forbindelse med denne undersøgelse er forholdet mellem indendørs- og udendørs koncentrationerne om vinteren, hvor ventilationen er begrænset, af størst interesse.

Ud fra vinterundersøgelserne kan konkluderes, at udendørs/indendørs forholdet for koncentrationen af partikler af udendørs oprindelse ved minimum ventilation mindst er en faktor 2,5 for de målte private boliger, en faktor 2-3 for kontorerne og en faktor 3-5 for de offentlige bygninger.

8.2.2. Pittsburgh-undersøgelsen

Undersøgelsens formål var at vurdere beskyttelsesfaktoren mod indånding af støv af udendørs oprindelse ved indendørs ophold. Metoden bestod i at udtage filterprøver af luft og bestemme indholdet af opsamlede partikler af kalcium, jern, zink, bly og brom ved hjælp af røntgenfluorescensanalyse. (Alzone et al. 1979).

De nævnte partikler vides væsentligst at være af udendørs oprindelse. Størrelsen af partiklerne blev ikke målt i forbindelse med undersøgelsen, men der henvises til, at de i anden forbindelse er fundet typisk at være følgende: kalcium 0,65-20 μm ; jern 3,6-20 μm ; zink 0,65-20 μm ; bly 0,1-0,65 μm ; brom 0,1-0,65 μm . Bly og brom knyttet til partikler stammer væsentligst fra bilernes udstødningssgas, og koncentrationen varierer stærkt i døgnets løb. Jern- og zinkniveauene i Pittsburgh er meget højere end i andre områder, hvilket viser, at de i det væsentlige er af industriel oprindelse. Kalcium er en vigtig komponent i flyveaske og frigives også ved brug af kalksten i stålfabrikationen.

Forholdet mellem udendørs og indendørs koncentrationer i ligevægt blev målt i 10 rum af vidt forskellig karakter (heraf 2 biler). Den største værdi af forholdet blev fundet for et 10m^2 stort rum uden vinduer i en ny universitetsbygning i Pittsburgh og opgives at være større end 10 for alle målte forureningstyper (jern, bly og brom). For de øvrige 9 rum var gennemsnittet for brom 2,79; for bly 2,38; for jern 4,17; for zink (kun 5 rum) 2,44 og for kalcium (kun 4 rum) 10. Den laveste værdi - 1,43 - blev fundet for et 30m^2 stort soveværelse med 8 vinduer.

Et enkelte af rummene - et 12m^2 stort kontor i en gammel universitetsbygning med et stort vindue med 6 ruder, hvoraf 2 sektioner kunne åbnes - blev undersøgt nærmere, idet det blev målt dels som det var (forsøg J), dels med plastfolie over vinduet (forsøg K), med plastfolie over alle overflader (forsøg N) og med plastfolie over alle overflader undtagen vinduet (forsøg P). Disse forsøg syntes at vise, at den udendørs forurening udelukkende eller næsten udelukkende trængte ind ved vinduet. I forsøg J var forholdet mellem udendørs og indendørs eksponeringsintegral 10 for kalcium; 5,88 for jern; 1,92 for zink; 2,04 for bly og 2,78 for brom. Eksperimentatorerne korriigerer disse tal for baggrundskoncentrationer indendørs på grundlag af forsøg N og finder herved en beskyttelsesfaktor på mellem 3 og 20, men gør opmærksom på, at beskyttelsesfaktoren bliver meget større for kalcium, jern og zink, hvis korrektionen foretages på grundlag af forsøg K, medens den ikke ændres væsentlig for bly og brom, hvor den var henholdsvis 2,94 og 7,69.

Disse tal gælder naturligvis kun for de undersøgte rum og korrektionsproceduren forekommer tvivlsom. Undersøgelsen ville have været væsentlig mere værdifuld, hvis man havde målt luftskiftehastighederne.

8.3. Reaktive stoffer

8.3.1. Windscale-undersøgelsen

Reaktoruheldet i Windscale i oktober 1957 frembød en enestående lejlighed til at undersøge den beskyttende virkning af bygninger, idet man her havde en radioaktiv aerosol, som ifølge sagens natur havde de karakteristika, man må forvente ved et reaktoruheld, og som var tilstrækkelig koncentreret til, at der kunne foretages nøjagtige målinger også på større afstande (Megaw 1961).

En uge efter uheldet målte man depositionen af jod-131 udenørs og indendørs, dels i en kontorbygning i Drigg i ca. 6 km's afstand fra Windscale og dels i et toetages stenhus i High Saltcoats i ca. 9 km's afstand fra Windscale. Begge bygninger lå i røgfanens retning, og ingen af dem var i brug i den pågældende periode. Huset i High Saltcoats havde skydevinduer og 6 skorstene. I kontorbygningen i Drigg stod nogle af vinduerne åbne under uheldet. Da man på grund af belastningen af det tekniske personale i forbindelse med uheldet først kunne begynde målingerne en uge efter uheldet, kunne man ikke - som det ville have været ønskeligt - måle eksponeringsintegralerne indendørs og udendørs. Man supplerede derfor senere målingerne i Drigg og High Saltcoats med et eksperiment på den gamle flyveplads i Harwell. Her lå der en træhytte, der beskrives som forholdsvis nyopført, godt vedligeholdt og med tætsluttende vinduer og rimeligt tætte døre. Eksperimentet bestod i, at man frigav radioaktiv jod i ca. 20 m's afstand fra denne hytte og målte depositioner og eksponeringsintegraler udendørs og indendørs. Endvidere målte man lurtstifteshastigheden i hytten for hver måleserie. Endelig målte man også eksponeringsintegraler for en inaktiv aerosol bestående af Aitken-kim.

Ud fra de eksperimentelle resultater konkluderede forfatteren af den tidsintegrerede koncentration i luften inde i bygningen kunne være 20-80 % af den tilsvarende udendørs afhængig af vindhastighed og -retning.

Denne undersøgelse blev kritisk gennemgået af Gjørup og Roed (1980). De konkluderede, at huset i High Saltcoast snarere gav en beskyttelsesfaktor med hensyn til inhalation af jod-131 på 6 eller mere.

8.3.2. Rotterdam-undersøgelsen

Biersteker et al (1965) undersøgte SO_2 -koncentrationen i luften i opholdsstuer i 60 Rotterdam boliger og sammenlignede dem med de tilsvarende koncentrationer ude.

I undersøgelsesperioden var boligerne beboede og de normale rutiner f.eks. udluftning fortsatte.

Da undersøgelserne blev foretaget om vinteren må vi imidlertid antage, at disse udluftninger var begrænsede i antal og varighed.

Undersøgelsens resultat er summeret i tabel 8.3.2.1. og tabel 8.3.2.2.

I tabel 8.3.2.2. ses at huse med centralvarme giver den bedste beskyttelse. Dette skyldes sandsynligvis at disse huse har en begrænset indre SO_2 -kilde i forhold til huse med andre opvarmningssystemer.

I huse med centralvarme kan vi således betragte SO_2 -forureningen som stammede hovedsagelig ude fra.

Det kan derfor konkluderes, at de undersøgte Rotterdam-boliger yder en middelbeskyttelsesfaktor på mindst 8 for det reaktive stof SO_2 , når dette har udendørs oprindelse og vinduer og døre er lukkede.

Tabel 8.3.2.1.

SO₂ koncentration i boliger opdelt efter deres alder.

bygningsår	SO ₂ indendørs (som % af udendørs- koncentrationen)
før 1920	30,0
1920-1939	17,7
1940-1959	16,8
1960-1965	5,9

Tabel 8.3.2.2.

SO₂ koncentration i boliger opdelt efter opvarmningssystem.

Opvarmningssystem	SO ₂ indendørs (som % af udendørs- koncentrationen)
centralvarme	12
petroleumsovne	17
kakkelovne	20
gasovne	30

9. SAMMENSÆTNINGEN AF ET RADIOAKTIVT UDSLIP

9.1. Reaktive og ikke-reaktive stoffer

Den samlede overføringsfaktor vil i en given situation afhænge af det radioaktive udslips sammensætning med hensyn til ikke-reaktive luftarter, ikke-reaktive partikler og reaktive stoffer.

I WASH-1400 rapporten (NRC 1975) antages det, at der fra reaktorkernen til atmosfæren - ved et uheld - vil kunne frigives op til 100% af ædelgasarterne (krypton og xenon, ikke-reaktive luftarter), op til 90% af joden som elementært jod (en reaktiv luftart) og op til 0,7% af joden som organisk jod (methyljodid, en ikke-reaktiv luftart), medens frigivelsesprocenterne for de øvrige fissionsprodukter (ikke-reaktive eller reaktive aerosoler) varierede fra 70% til 0%.

På baggrund af de data, som foreligger nu, må man imidlertid antage, at jodfrigivelsen i forbindelse med store udslip (som f.eks. BWR2 - og BWR3 udslip) i langt de fleste tilfælde - om ikke i alle tilfælde - vil være domineret af cæsiumjodid, som er en ikke-reaktiv aerosol (NUREG-0772). At joden normalt må forventes at forekomme som cæsiumjodid - og ikke som elementært jod - bekræftes af erfaringerne fra Tremileøuheldet (Stratton et al. 1980).

Frigivelsen af fissionsprodukter fra den uheldsramte, luftkølede Windscale reaktor i England i 1957 skete under betingelser, som ville være helt usandsynlige for letvandsreaktorer (vand- og dampfrit miljø med adgang for den atmosfæriske luft). Erfaringerne herfra (Clark, 1974) viser, at den ret betydelige jodfrigivelse (12% af indholdet i det berørte brændsel), selv under disse for frigivelse af elementært jod gunstige omstændigheder, var domineret af jod på aerosolform.

Ædelgasarterne xenon og krypton optages ikke i kroppen og giver derfor ikke nogen indåndingsdosis jvf. ICRP publikation nr. 30. Organisk jod (methyljodid) kan ifølge WASH-1400 udgøre maksimalt 0,7%, men ifølge nyere vurderinger ikke mere end 0.03% af kernens indhold af jod (NUREG-0772).

Når talen er om store udslip, f.eks. BWR2- og BWR3 udslip, bør man derfor regne med, at indåndingsdosis i praksis udelukkende vil stamme fra ikke-reaktive eller reaktive aerosoler, idet dosis fra methyljodid vil være mindre end usikkerheden på de reducerede doser.

Alle de i denne rapport omtalte reduktionsmekanismer for indåndingsdoser vil derfor være relevante i sådanne tilfælde og benyttes overføringsfaktoren for ikke-reaktive aerosoler ved beregning af dosis fra reaktive stoffer, vil dosis ikke blive undervurderet, idet overføringsfaktoren for reaktive partikler er mindre end for ikke-reaktive partikler.

Det kan imidlertid ikke udelukkes, at udslippene af aerosoler selv ved alvorlige kernenedsmeltningsuheld bliver så små, at indåndingsdoserne fra organisk jod (methyljodid) bliver overvejende, og under alle omstændigheder kan dette forekomme ved mindre reaktoruheld. På Tremileøen udgjorde de luftformige jodforbindelser i reaktorindeslutningen således kun nogle få hundrededele promille af det oprindelige jodindhold i kernen, men ca. 70% var methyljodid.

Hvis der var opstået en større lækage i reaktorindeslutningen efter uheldet kunne organiske jodforbindelser være blevet dominerende for indåndingsdoserne. Da organisk jod i denne forbindelse er en ikke-reaktiv luftart ville indåndingsdoserne herfra kun kunne være reduceret ved udluftning efter skypasagen.

9.2. Betydningen af filter på et kernekraftværk (FILTRA)

Ifølge FILTRA-rapporten (1982) kan filtreret trykaflastning i tilfælde af et kernenedsmeltningsuheld med øjeblikkeligt overtryk og deraf følgende brud på sprængblikket til trykaflastningsfiltret også medføre en situation, hvor organisk bundet jod (methyljodid) bliver dominerende for indåndingsdosis, idet fissionsproduktfrigivelsen til atmosfæren i procent af kerneindholdet i dette tilfælde tænkes at blive 100% af ædelgasarterne, 0,7% som organisk bundet jod, 0% som elementært jod og 0,01% som partikler (inclusive jod).

Et sådant uheld på Barsebäck under en meteorologisk rimelig men for Danmark maksimalt ugunstig vejr-situation, ville ifølge FOA's rapport, "Konsekvenser av Radioaktiv Kontaminering i Danmark i händelse av eet stort Reaktorhavari i Barsebäck", (FOA 1984) i København kunne give indviddoser svarende til ca. 10 mSv (1 rem) helkropsdosis fra inhalation ca. 10 mSv (1 rem) som ekstern strålingsdosis fra skyen og ca. 0.1 mSv (10 mrem) som ekstern dosis fra deponeret radioaktivitet - uden beskyttelsesfaktorer indregnet. Den kollektive effektive indåndingsdosis ville - stadig ifølge FOA's rapport - være ca. 10 gange større end den eksterne kollektive dosis fra skyen, og den ville således være dominerende (2300 manSv mod 250 manSv). Den ville næsten udelukkende skyldes methyljodid, og den ville kun kunne reduceres ved udluftning efter skypassagen. Der er i FOA's rapport og i FILTRA-rapporten regnet med, at trykaflastningsfiltret er helt virkningsløst over for methyljodid, hvilket næppe er en realistisk antagelse.

10. RESULTATER, DISKUSSIONER OG KONKLUSIONER

10.1 Den statiske overføringsfaktor

Den statiske overføringsfaktor defineres som overføringsfaktoren, der er gældende, når parametrene er uændret i hele exponeringstiden. I praksis vil det betyde, at vind og vejrforholdene ikke ændres. Overføringsfaktorerne der er omtalt i de følgende underafsnit er statiske.

10.1.1 Overføringsfaktor for ikke reaktive partikler for de enkelte rum i boligen

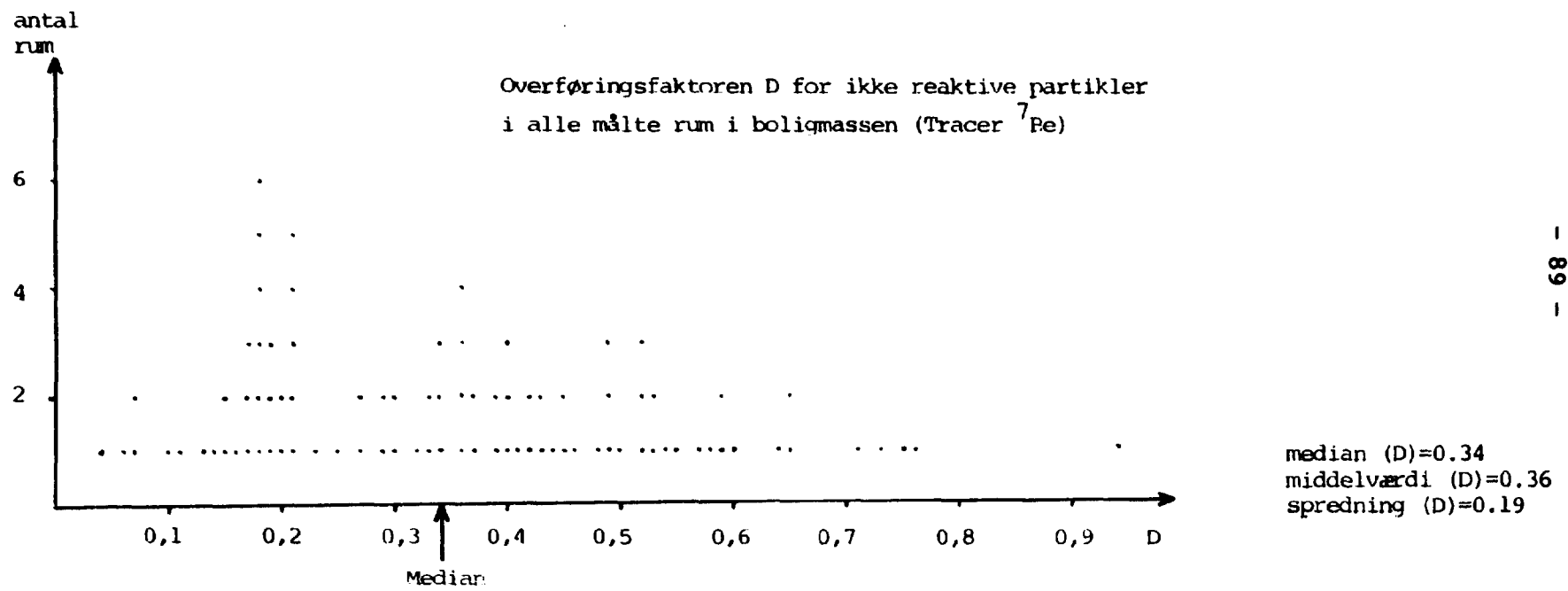
I fig (10.1.1.) er angivet overføringsfaktoren, D, for ikke reaktive partikler for alle boligens rum når de indvendige døre er lukkede. Medianen for overføringsfaktoren er 0,34 og middelværdien er 0,36 med en spredning på 0,19.

10.1.2 Sammenligning af overføringsfaktoren for ikke reaktive partikler for opholdsrum og for birum

På fig. (10.1.2.1.) er angivet overføringsfaktoren D for opholdsrum alene. For disse rum er medianen 0,29 og middelværdien 0,32 med en spredning på 0,17. Birum har, jfr. fig. (10.1.2.2.) såvel median, som middelværdien og spredning, der er større end for opholdsrum. Værdierne for birum er henholdsvis 0,37, 0,42 og 0,20.

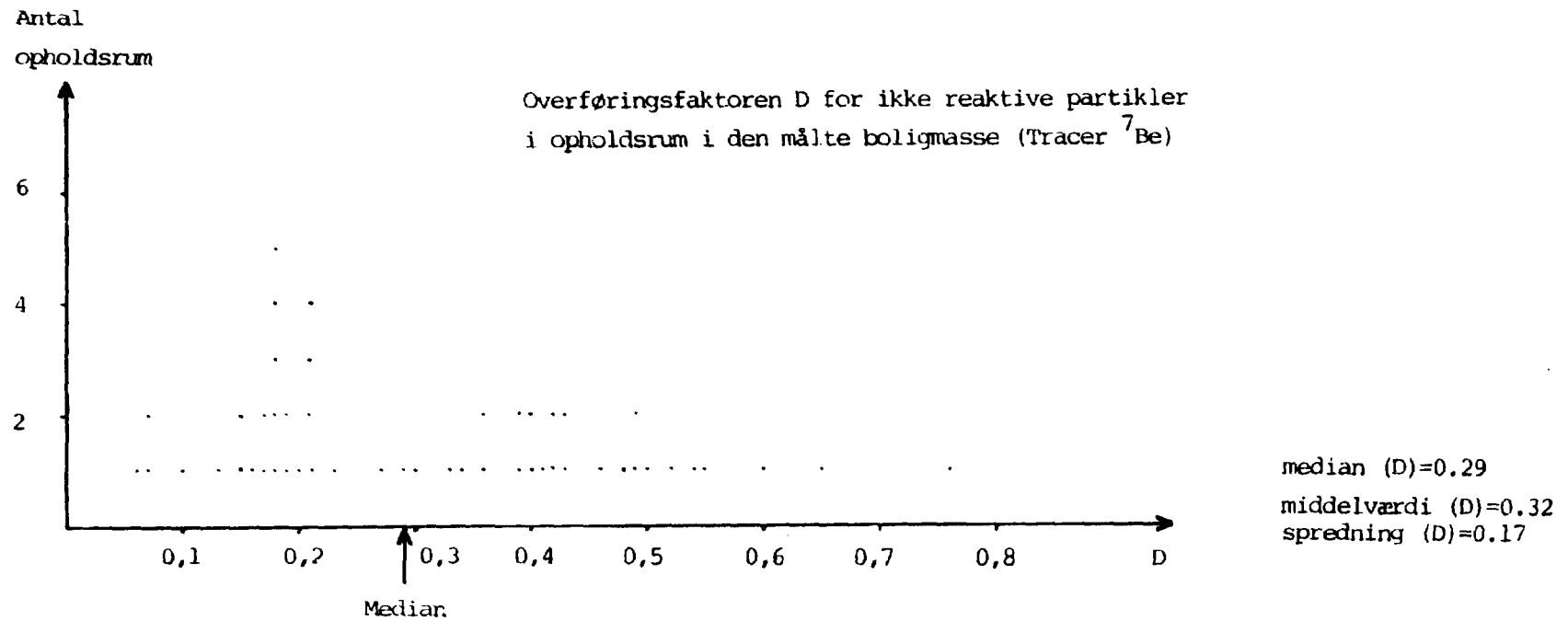
Det kan altså konkluderes, at opholdsrum yder en gennemsnitlig bedre beskyttelse end birum. Den mindre spredning for opholdsrum betyder, at der er større sikkerhed for, at man virkelig får en beskyttelse, der ligger nær på middelværdien, ved at vælge et opholdsrum.

fig. 10.1.1



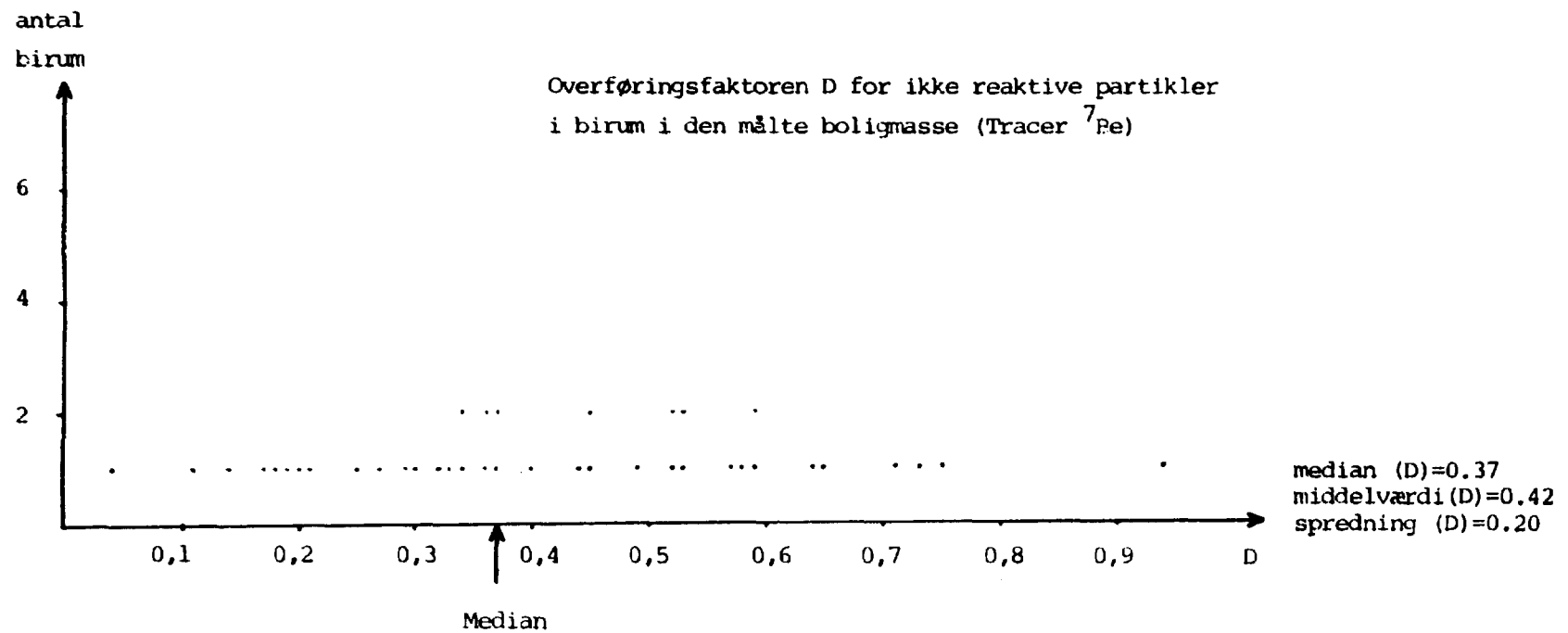
D er den faktor, hvormed den tidsintegrerede koncentration ude skal multipliceres for at finde den tidsintegrerede koncentration i det pågældende rum med ændret ventilation.

fig. 10.1.2.1



D er den faktor, hvormed den tidsintegrerede koncentration ude skal multipliceres for at finde den tidsintegrerede koncentration i det pågældende rum med uventet ventilation.

fig. 10.1.2.2



D er den faktor, hvormed den tidsintegrerede koncentration ude skal multipliceres for at finde den tidsintegrerede koncentration i det pågældende rum med uændret ventilation.

10.1.3 Overføringsfaktoren for ikke reaktive partikler for boligen som helhed

Der er foretaget fire målinger af huse som helhed, altså med indvendige døre åbne, dog er dørene til de mest ekstreme rum blevet lukket. Med ekstreme menes rum med særlig stor ventilationshastighed til det fri.

Målingerne gav et gennemsnit for D på 0,36, se fig. (10.1.3.), dette svarer til et sted mellem middelværdierne for opholds- og bium.

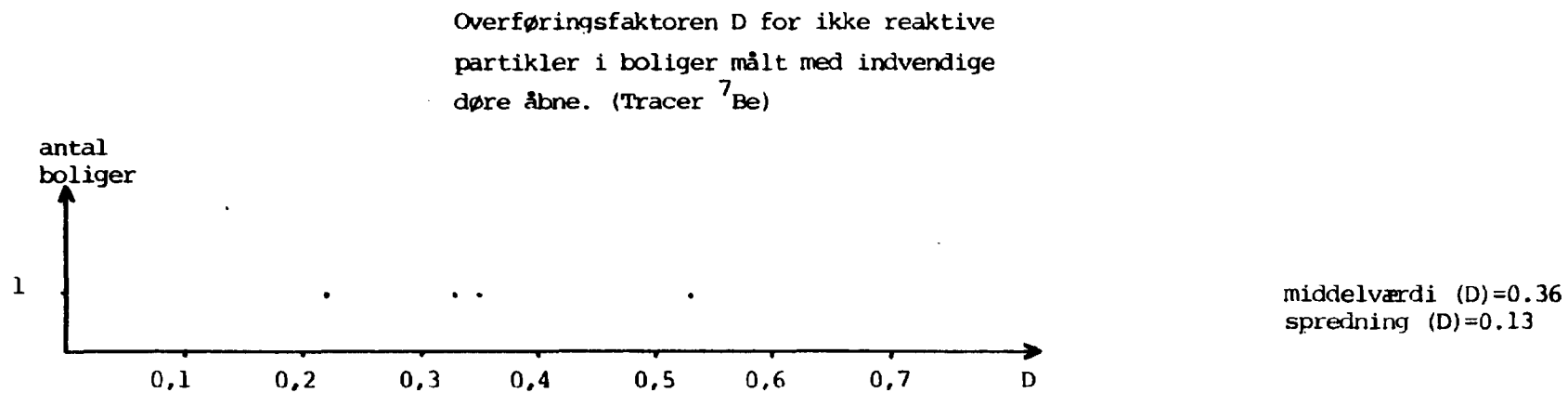
En sammenligning mellem den gennemsnitlige overføringsfaktor for de forskellige rum med indvendige døre lukkede og for huset som helhed dvs. med åbne indvendige døre er blevet foretaget ved en række målinger på bolig nr. 16. Denne bolig er målt i to perioder med indvendige døre åbne og i to perioder med indvendig døre lukkede.

Med lukkede indvendige døre blev gennemsnittet af overføringsfaktoren for samtlige målinger og rum 0,19. Med åbne indvendige døre blev gennemsnittet 0,28. Disse målinger kan tydes i retning af, at den foranstaltning at lukke indvendige døre, bidrager til en yderlig filtrering af luften, og dermed en nedsættelse af overføringsfaktoren. Denne nedsættelse er dog lille, og det er i overensstemmelse med, at luftskiftehastighedsmålingerne viser, at luftskiftet for det enkelte rum med lukkede døre i det væsentlige sker direkte med ude og altså i mindre grad med naborum.

10.1.4 Overføringsfaktorens afhængighed af vejrforholdene (ikke reaktive partikler)

I bolig nr. 16 er der som nævnt i afsnit (10.1.3) foretaget gentagne målinger.

fig. 10.1.3



D er den faktor, hvormed den tidsintegrerede koncentration ude skal multipliceres for at finde den tidsintegrerede koncentration i det pågældende rum med uændret ventilation.

I de to perioder, hvor de indvendige døre var åbne i måleperioden, blev overføringsfaktoren målt til henholdsvis 0,22 og 0,33. I disse to perioder var vejrforholdene ikke meget forskellige. Forskellen i overføringsfaktoren for de to målinger må derfor i det væsentlige tilskrives usikkerheden på målingerne.

I de to måleperioder, hvor de indvendige døre var lukkede, er middelværdierne for overføringsfaktoren henholdsvis 0,17 og 0,21. I disse to måleperioder var vindforholdene ret forskellige. På trods heraf er overføringsfaktorerne for de enkelte rum i de to målinger godt korrelerede; korrelationskoefficienten er 0,92.

Alt i alt kan det siges, at målingerne i bolig nr. 16 viser en rimelig god reproducerbarhed for målinger af de statiske overføringsfaktorer for partikler.

I de måleperioder, hvor indvendige døre var lukkede, kunne det tænkes, at de enkelte rum havde en mindre overføringsfaktor i den periode, hvor de lå mest i læ. En sådan effekt viste målingerne imidlertid ikke og dette er i overensstemmelse med følgende analyse af de udførte målinger af overføringsfaktor på andre boliger.

I bolig nr. 8 har rum 4 ligget i læ i det meste af måleperioden. Overføringsfaktoren for rum 4 ligger midt i spektret. I bolig nr. 11 har rum 3 ligget i læsiden og rum 5 i luvsiden i det meste af måleperioden. Rum 5 har en mindre overføringsfaktor end rum 3. I bolig nr. 16 har rum nr. 6 ligget i læ i måleperioden 7/9-22/9 81. Dette rum har den største overføringsfaktor.

Det synes således ikke af betydning for overføringsfaktoren for partikler om et rum ligger i læ- eller i luvsiden. Dette er i god overensstemmelse med den tidlige nævnte observation vedrørende luftskiftet, nemlig at det største luftskifte normalt sker med boligens direkte omgivelser og ikke med naborum.

10.1.5. Overføringsfaktorens afhængighed af luftskiftehastigheden for ikke reaktive partikler

Den statiske overføringsfaktors afhængighed af luftskiftet er stærkt afhængig af, om der er tale om birum eller om opholdsrum, kun opholdsrum viser en rimelig korrelation mellem overføringsfaktoren og luftskiftet.

I figur (10.1.5.1.) er overføringsfaktoren for opholdsrum afbildet som funktion af n_k , det vil sige luftskiftehastigheden for huset med alle indvendige døre åbne, korrigeret til en tilstand, hvor temperaturforskellen over klimaskærmen er 17° , og luft-hastigheden i 10 m's højde er 4,6 m/s.

Det ses at der er en rimelig god korrelation mellem D og n_k (korrelationskoefficienten 0,52), således at der kan opskrives et udtryk for sammenhængen mellem middelværdien af overføringsfaktoren, D og n_k for opholdsrum

$$\bar{D} = 0,24 \cdot n_k + 0,21$$

Opholdsrum i tætte boliger vil altså i middel give en bedre beskyttelse end tilsvarende rum i utætte boliger.

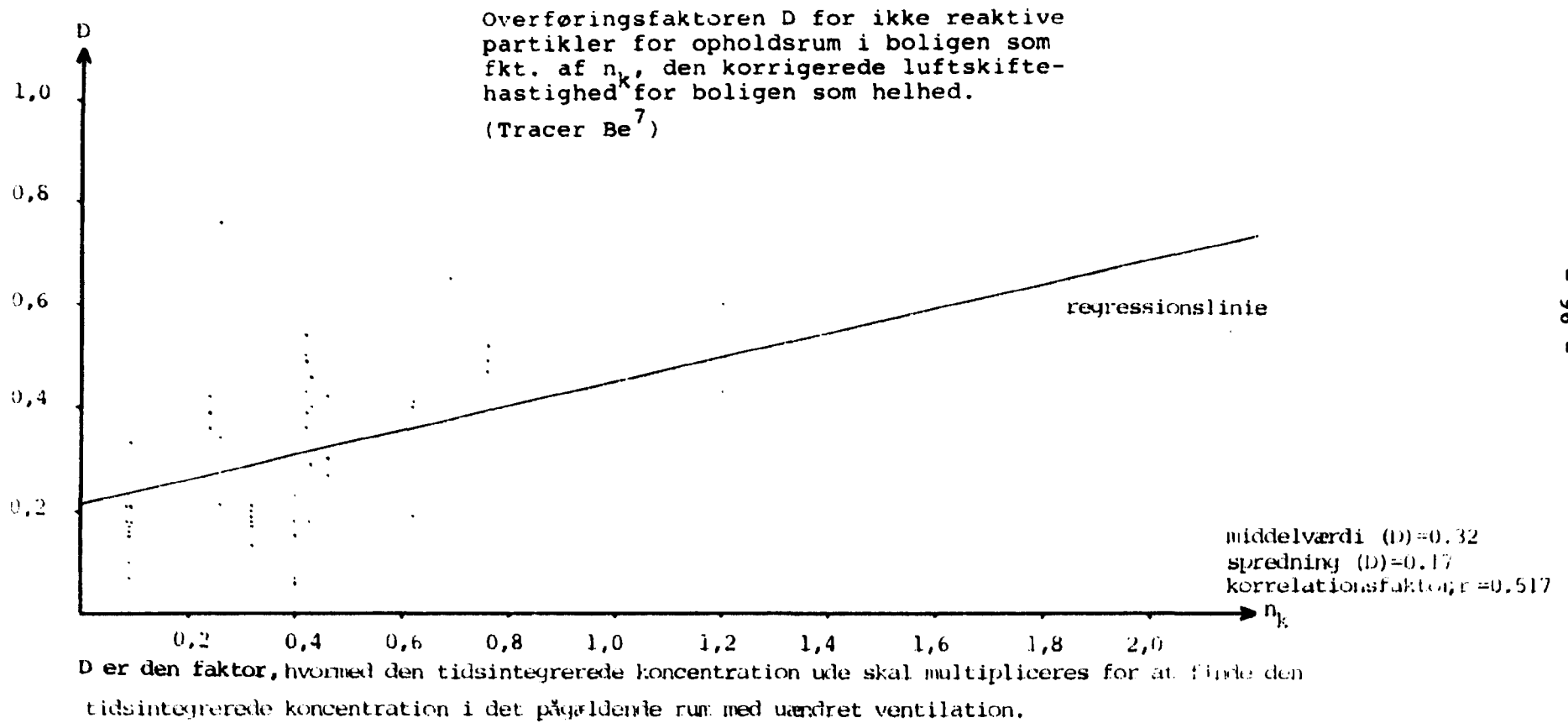
10.1.6. Overføringsfaktor for reaktive stoffer

Den statiske overføringsfaktor for reaktive stoffer er ikke målt i forbindelse med denne undersøgelse.

De målinger, der er omtalt i afsnit 8.3, viser dog, at overføringsfaktor for reaktive stoffer er meget lille og mindre end overføringsfaktoren for ikke reaktive partikler.

Dette er i god overensstemmelse med vor viden om reaktive stoffers store villighed til at opfanges på faste overflader (stor depositionshastighed). Se f.eks. Roed (1981).

fig. 10.1.5.1



10.1.7. Overføringsfaktoren for en ikke reaktive luftarter

Som omtalt i afsnit 2.1. vil ikke reaktive luftarter kun have en ganske ringe depositionshastighed og vil så godt som være uberrørt af gennemgang gennem et filter, det betyder at den statiske overføringsfaktor ligger nær én for disse luftarter. Der opnås altså ikke nogen beskyttelse ved at gå indendørs, for så vidt angår inhalationsdosis for ikke reaktive gasser.

10.2. Den dynamiske overføringsfaktor

Når nogle af de forhold (parametre) der bestemmer overføringsfaktoren ændres i den periode, hvor eksponeringen sker, taler vi om en dynamisk overføringsfaktor.

Når der i de følgende underafsnit under 10.2 tales om overføringsfaktor er det den dynamiske overføringsfaktor i forbindelse med udluftning.

10.2.1. Overføringsfaktoren for en ikke reaktiv gas ved udluftning efter skypassage

I figurerne (10.2.1.1), (10.2.1.2) og (10.2.1.3) er vist overføringsfaktorerne for en ikke reaktiv gas ved udluftning 1 time efter skyens passage. Skyen antages at være en sky med konstant koncentration som passerer boligen i løbet af tre timer.

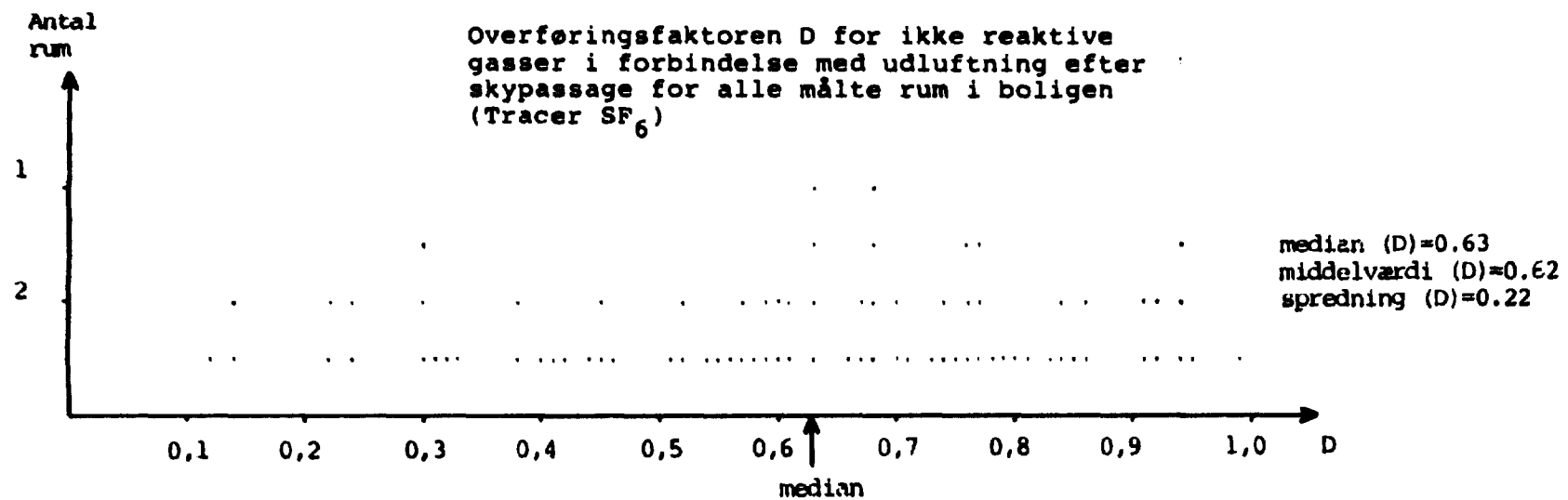
Middeltallet for overføringsfaktoren for samtlige rum er 0,62 med en spredning på 0,22. For opholdsrum alene fås et gennemsnit på 0,54 med en spredning på 0,21, for bierum findes et middeltal på 0,69 med en spredning på 0,21.

Med åbne indvendige døre kan overføringsfaktoren for hele huset findes fra følgende udtryk

$$D = 1 - \frac{e^{-n_k}}{3n_k} \cdot (1 - e^{-3n_k})$$

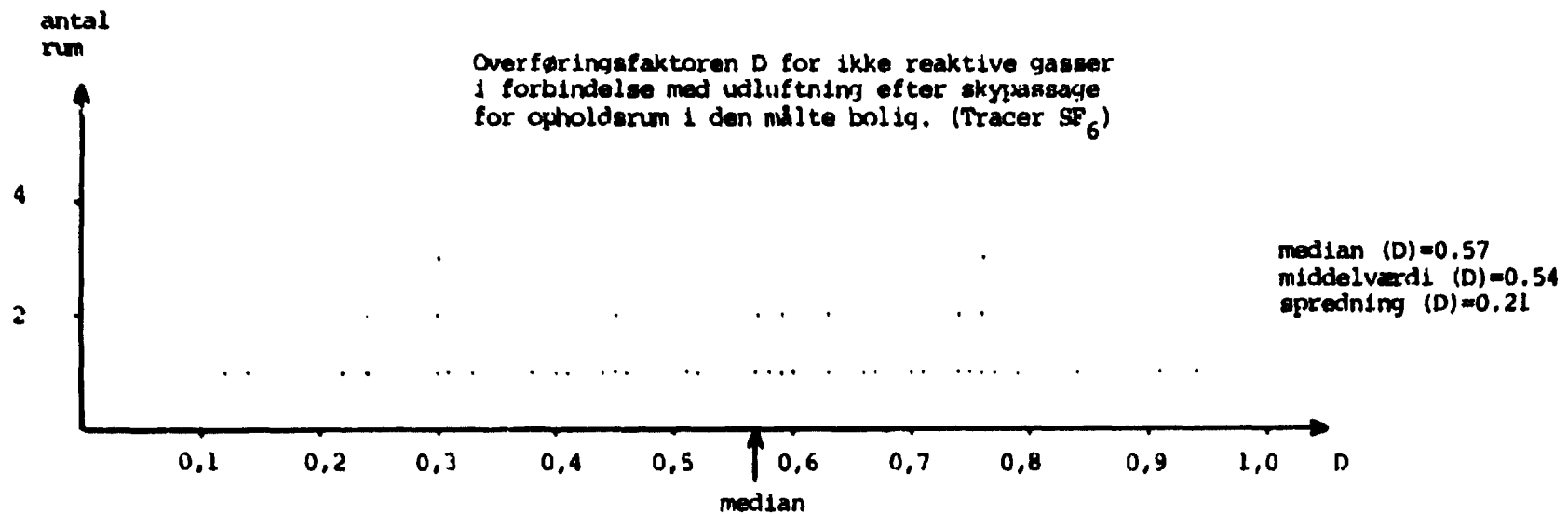
Denne funktion er indtegnet på fig. 10.2.1.4. Overføringsfaktoren for de enkelte rum følger pænt denne kurve.

fig. 10.2.1.1



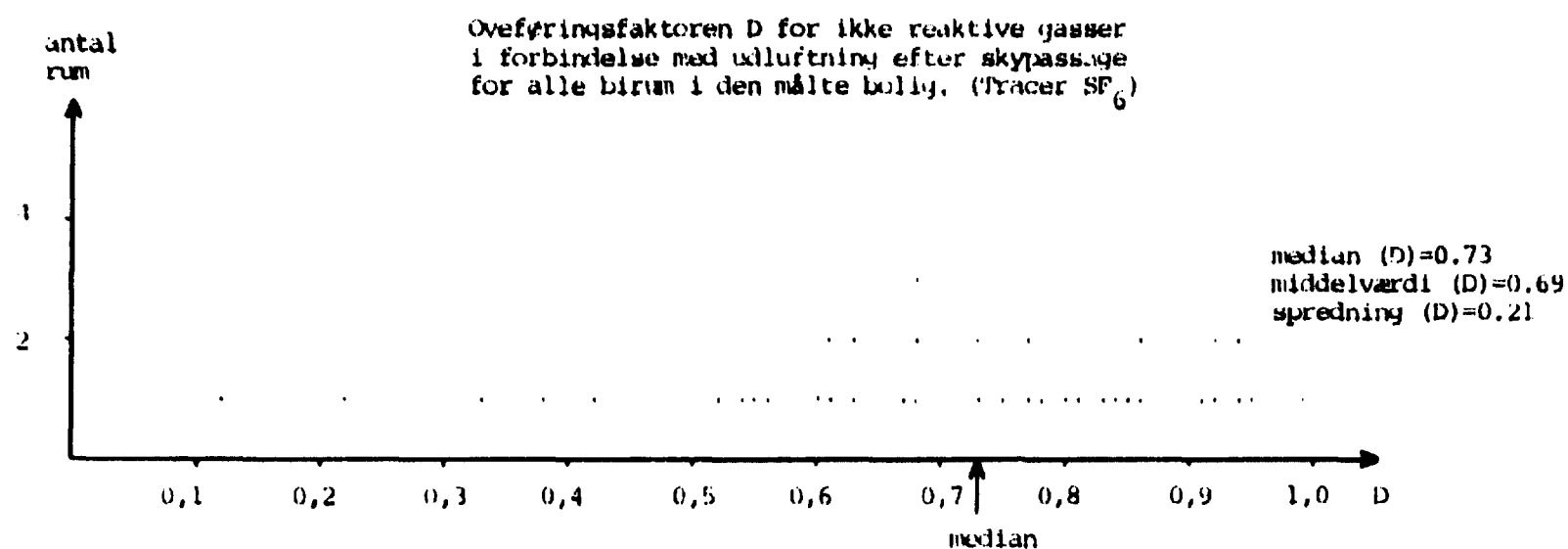
D er den faktor, hvormed den tidsintegrerede koncentration ude skal multipliceres for at finde den tidsintegrerede koncentration i det pågældende rum, forudsat at luftforureningskoncentrationen er konstant i tre timer, og der udluftes 1 time efter, at forureningen er ophørt.

fig. 10.2.1.2



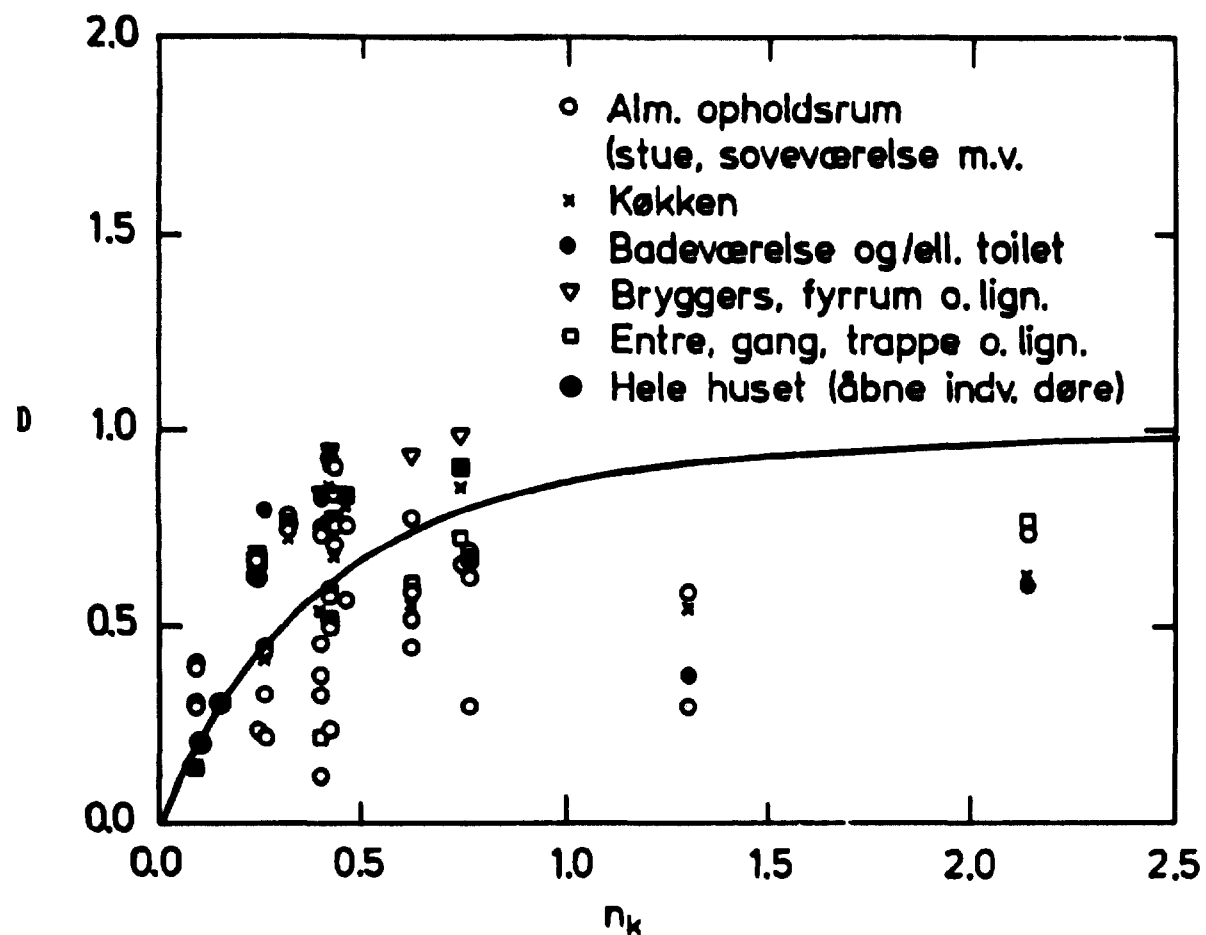
D er den faktor, hvormed den tidsintegrerede koncentration ude skal multipliceres for at finde den tidsintegrerede koncentration i det pågældende rum, forudsat at luftforureningskoncentrationen er konstant i tre timer, og der udluftes 1 time efter, at forureningen er ophørt.

fig. 10.2.1.3



D er den faktor, hvormed den tidsintegrerede koncentration ude skal multipliceres for at finde den tidsintegrerede koncentration i det pågældende rum, forudsat at luftforureningskoncentrationen er konstant i tre timer, og der udluftes 1 time efter, at forureningen er ophørt.

Fig. 10.2.1.4.



Overføringsfaktoren, D , for en ikke reaktiv luftart ved udluftning 1 time efter skypassagen, som fkt. af n_k , det korrigerede luftskifte for hele boligen. Skypassagetid 3 timer.

10.2.2. Overføringsfaktoren for partikler ved udluftning efter skypassage

Da partikelkoncentrationen indendørs antages at være proportional med koncentrationen af en ikke reaktiv gas, kan overføringsfaktoren for partikler ved udluftning fås ved at multiplicere den statiske overføringsfaktor for partikler med den dynamiske overføringsfaktor for gasser.

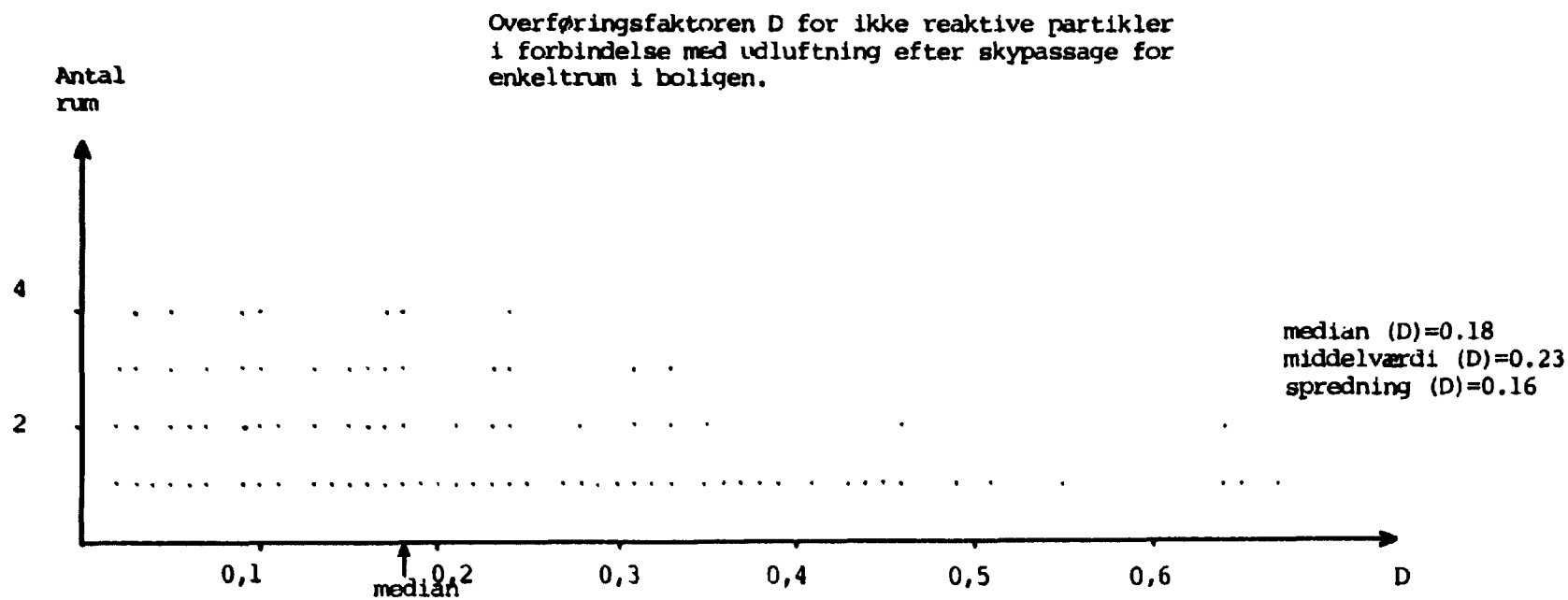
På figurerne (10.2.2.1), (10.2.2.2) og (10.2.2.3) er vist den dynamiske overføringsfaktor for partikler under forudsætning af en sky med konstant koncentration af tre timers varighed og udluftning en time efter skypassagen. Overføringsfaktoren for samtlige rum er i gennemsnit 0,23 med en spredning på 0,16. For opholdsrum alene er gennemsnittet for overføringsfaktoren 0,17 med en spredning på 0,11, hvorimod birummenes middelværdi er 0,29 med en spredning på 0,19.

Det gælder således for den dynamiske overføringsfaktor i forbindelse med udluftning, at et opholdsrum giver en gennemsnitlig bedre beskyttelse end et birum ligesom spredningen er mindre, hvilket betyder at der er større chancer for, at man virkelig får den gennemsnitlige beskyttelse, ved at vælge et opholdsrum frem for et birum i en forureningssituation.

10.2.3. Overføringsfaktor for et reaktiv stof efter udluftning

Hvad der er diskuteret under afsnit 10.2.2 for ikke reaktive partikler, gælder også for reaktive stoffer blot med den forskel, at overføringsfaktorerne må antages at være mindre for reaktive stoffer end for ikke reaktive partikler.

fig. 10.2.2.1



D er den faktor, hvormed den tidsintegrerede koncentration ude skal multipliceres for at finde den tidsintegrerede koncentration i det pågældende rum, når det forudsættes at luftforureningskoncentrationen er konstant i tre timer, og der udluftes 1 time efter, at forureningen er ophørt.

fig. 10.2.2.2

Overføringsfaktoren D for ikke reaktive partikler i forbindelse med udluftning efter skypassage for opholdsrum i boligen.

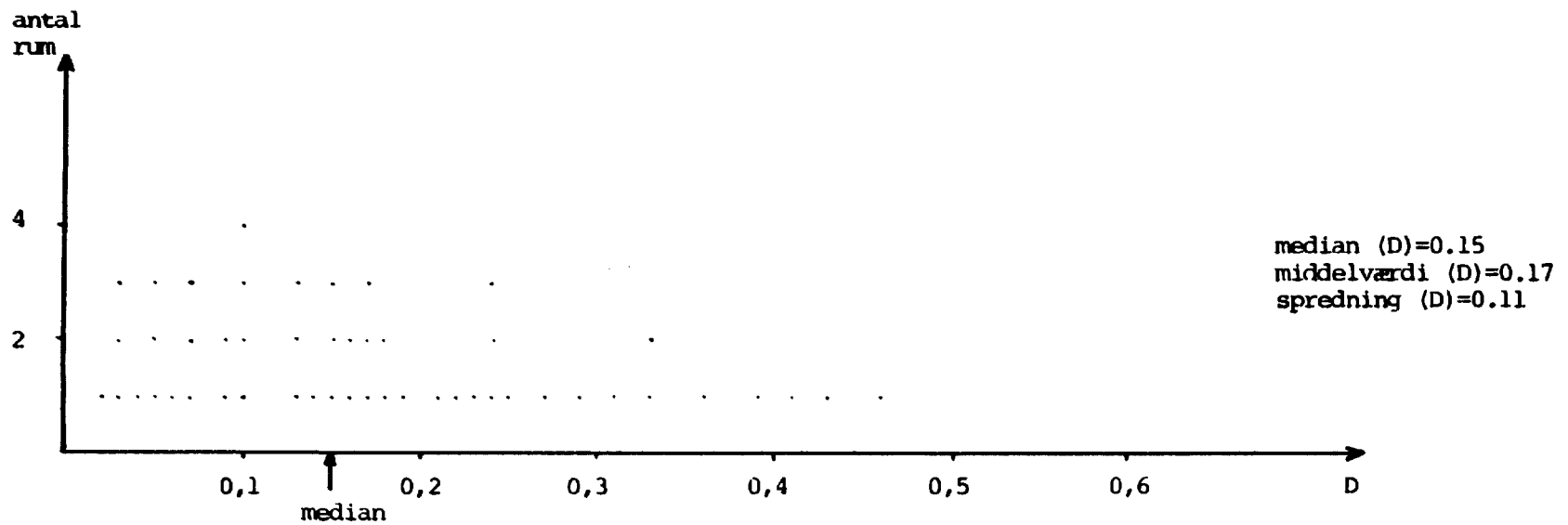
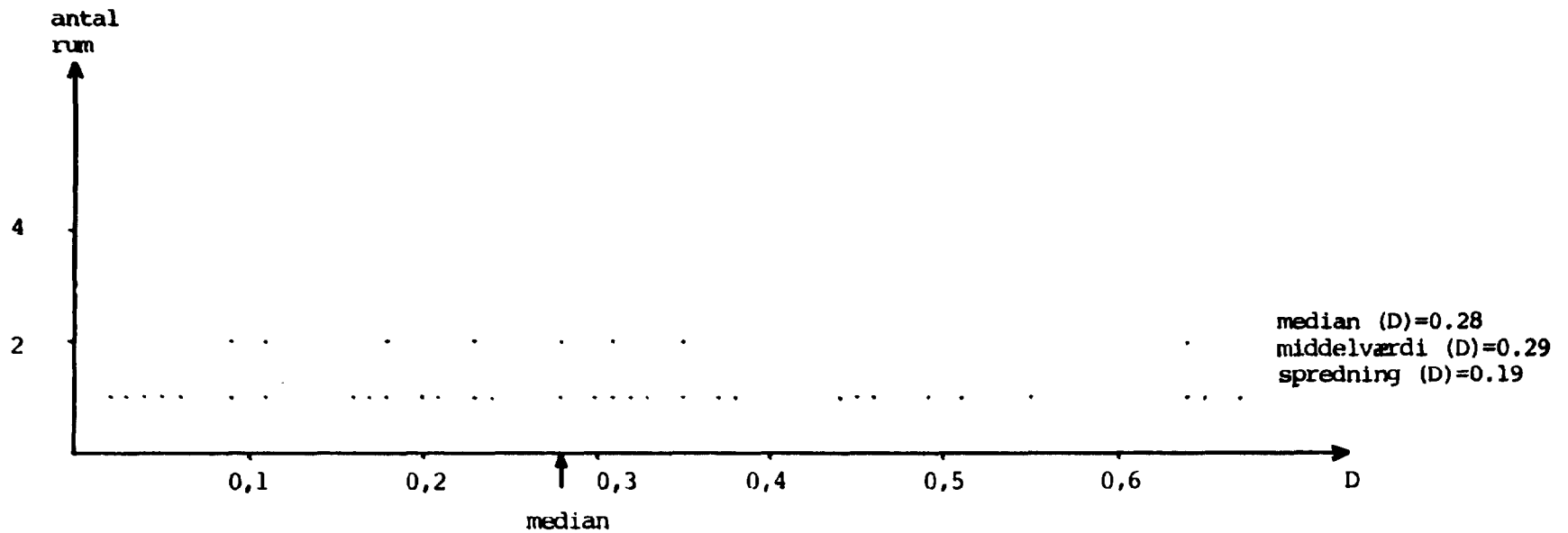


fig. 10.2.2.3

Overføringsfaktoren D for ikke reaktive partikler
i forbindelse med udluftning efter skypassage for
birum i boligen.



D er den faktor, hvormed den tidsintegrerede koncentration ude skal multipliceres for at finde den tidsintegrerede koncentration i det pågældende rum, når det forudsættes at luftforureningskoncentrationen er konstant i tre timer, og der udluftes 1 time efter, at forureningen er ophørt.

10.3. Reduktion af det indendørs eksponerings-integral ved brug af husholdningsstøvsuger

Som tidligere navnt kan eksponeringsintegralet nedsættes ved at lade en støvsuger være tændt i den periode eksponeringen finder sted.

Der er kun blevet målt på en støvsuger hvor filtereffektiviteten var 0,97 og sugehastigheden ca. 60 m³ pr. time.

Støvsugere har formodentlig et vidt område for sugehastigheder, det ville derfor være af betydning at undersøge en række støvsugeres sugehastighed for at danne sig et mere korrekt billede af støvsugerens virkning.

I denne undersøgelse har vi måtte indskrænke os til at beregne nedsættelsesfaktoren for den undersøgte støvsuger, idet vi i beregningerne satte filtereffektiviteten til 5/6 og sugehastigheden til 60 m³/time. Beregninger er vist på fig. 10.3, hvor luftskiftehastigheden for det enkelte rum er afsat ud ad en akse og rumstørrelsen ud ad den anden akse, mens nedsættelsesfaktoren er angivet som en kurveskare, der gælder når der ikke luftes ud.

Af figuren fremgår, at for et typisk opholdsrum på 50 m³ med en luftskiftehastighed på 0,5 gange i timen vil virkningen af, at støvsugeren er tændt i rummet i eksponeringstiden være en reduktion i eksponeringsintegralet til 33 % af eksponeringsintegralet uden støvsugervirkning.

I tilfælde af udluftning skal reduktionen findes ud fra udtrykket (7.2.20).

I det nævnte typiske opholdsrum findes ved udluftning efter en time en reduktion i eksponeringsintegralet til 46 %.

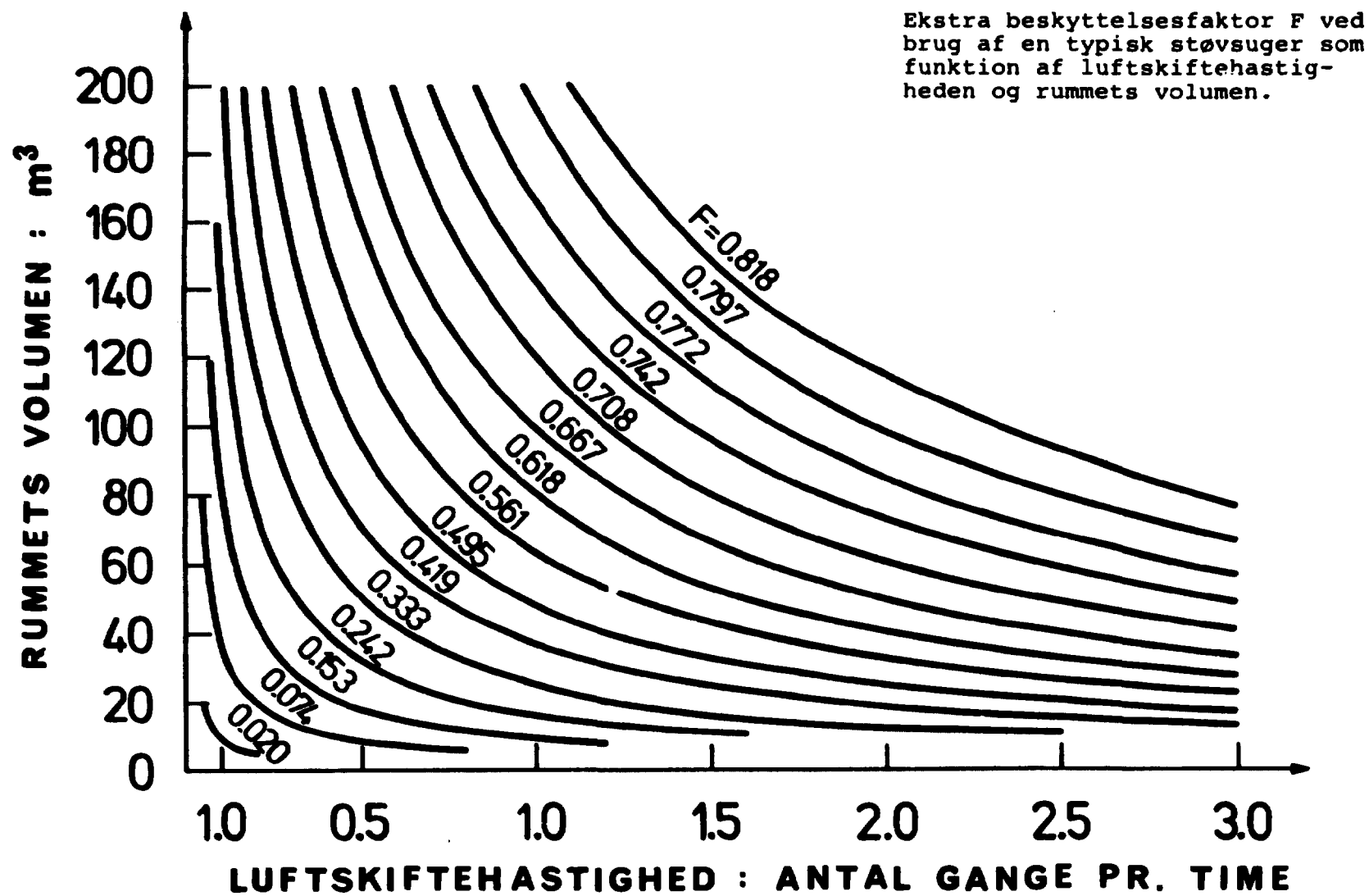


Fig. 10.3

10.4. Endelig konklusion

Inhalationsdosis under et luftforureningsuheld kan nedsættes ved indendørs ophold, idet eksponeringsintegralet er mindre indendørs end udendørs.

For en ikke reaktiv gas kan en sådan nedsættelse dog kun ske ved en udluftning umiddelbart efter, at den forurenende sky har passeret boligen. Herved vil der for opholdsrum i gennemsnit kunne opnås en reduktion til omkring halvdelen, hvis alle indvendige døre er lukkede i hele eksponeringsperioden (indtil udluftningen), hvis skyen er en sky med konstant koncentration af tre timers varighed, og hvis udluftningen sker en time efter skypassagen.

For ikke reaktive partikler nedsættes dosis alene på grund af boligens filtrerende virkning. For opholdsrum vil denne effekt give en nedsættelse af dosis til ca. $1/3$. For reaktive stoffer vil reduktionen være større. Såfremt man opstiller en tændt støvsuger i et typisk opholdsrum på 50 m^3 , og med luftskiftehastighed 0,5 gange pr. time i den tid man opholder sig der, vil dosis yderligere reduceres med $2/3$ til $1/9$ for ikke reaktive partikler. For reaktive stoffer vil dosisreduktionen være større.

De ovenfor nævnte muligheder for at reducere inhalationsdosis kan summeres i følgende skema, som angiver indendørsdosis som % af udendørsdosis for det typiske opholdsrum.

	ingen udluft- ning efter skypassage.	udluftning efter sky- passage.	brug af hus- holdnings- støvsuger, ingen ud- luftning.	brug af støvsuger + udluft- ning.
ikke reak- tive gas- ser.	100 %	54 %	100 %	54 %
ikke reak- tive par- tikler.	32 %	17 %	11 %	8 %
reaktive stoffer.	mindre end 32 %	mindre end 17 %	mindre end 11 %	mindre end 8 %

ACKNOWLEDGMENTS

I størstedelen af undersøgelsesperioden har der, i miljøstyrelsens regi været nedsat en arbejdsgruppe der skulle afgive en rapport til miljøstyrelsen. Arbejdsgruppens sammensætning var:

Civilingeniør P.F. Collet, Teknologisk Institut
Afdelingsleder H.L. Gjørup, Forsøgsanlæg Rissø
Civilingeniør Leif Hannibal, Tilsynet med nukleare anlæg
Civilingeniør Leif Mortensen, Miljøstyrelsen, formand
Civilingeniør Arne D. Olsen, Teknologisk Institut
Civilingeniør Jørn Roed, Forsøgsanlæg Rissø
Dr.med. J. Schultz-Larsen, Arvebiologisk Institut
Civilingeniør Preben Chr. Hansen, Miljøstyrelsen, sekretær

Forfatterne ønsker at takke medlemmerne af denne gruppe for mange værdifulde diskussioner og forslag.

Endvidere ønsker vi at sige tak til sekretarerne Ingrid Kristensen, Margit Nielsen og Elisabeth Ullrich for deres hjælp med udarbejdelsen af manuskriptet. Også laboranterne Jytte Clausen og Karen Wie Nielsen er vi tak skyldige for deres kvalificerede hjælp i forbindelse med undersøgelsen.

En særlig tak skylder vi civilingeniør Jørgen Lippert, hvis program "STATDATA" blev flittigt brugt i beregningsarbejdet.

LITTERATUR

- ALBRECHT, H. and WILD, H. (1982). Freisetzungsquellterme bei Hypothetischen LWR-Störfällen. KTG-Fachtagung Freisetzung und Transport von Spaltprodukten bei Hypothetischen Störfällen von Leichtwasserreaktoren, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Institut für Radiochemie, Projekt Nukleare Sicherheit, Postfach 3640, D-7500 Karlsruhe, Bundesrepublik Deutschland.
- ATKINS, D.H.P. (1977). Deposition of Radioactive Methyl Iodide to Vegetation. Health Physics 13, 91-92.
- BUNZ, H., KOYRO, M. and SCHÖCK, W. (1980). Influence of the Source Term Parameters on Aerosol Behaviour in Core Melt Down Accidents in LWRs. NUREG/CR-1724, ORNL/NUREG/TM-404 CSNI-45, Category Dist. R7, Proceedings of the CSNI Specialists Meeting on Nuclear Aerosols in Reactor Safety, April 15-17, 1980, Gatlinburg, Tennessee.
- CLARK, R.A. (1974). An Analysis of the 1957 Accident Using the Wierie Code, Annals of Nuclear Science and Engineering 1 73.
- COLLET, P.P., FREDERIKSEN, E., HOFFMANN, T. og MADSEN, G. (1976). Boligers luftskifte, Teknologisk Institut, Byggeteknik, Juli.
- COLLET, P.P., DAMSGAARD OLSEN, E. og ROED, J. (1982). Rapport over måling af det naturlige luftskifte og af samtlige lufttransportkoefficienter for 12 boliger, Teknologisk Institut, Byggeteknik, Januar.
- FILTRA (1982). Filtered Atmospheric Venting of Light Water Reactor Containments. Final Report - November - Studsvik Library S-611 82 Nyköping, Sweden.
- FOA (1984). Konsekvenser av Radioaktiv Kontaminering i Danmark i Händelse av ett stort Reaktorhaveri i Barsebäck. Slutrapport, Juni. Försvarets Forskningsanstalt, Huvudavdelning 4, Umeå, Sverige.
- LIPPERT, J. (1982). STATDATA, et program til generel databehandling på B7800, Forsøgsanlæg Risø, DK 4000 Roskilde, Risø-M-2358.

- MCHARON, T.A. and DENISON, P.J. (1979). Empirical atmospheric deposition parameters - a survey. Atmos. Environ. 13, 571-585.
- NRC, 1975, Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risk in U.S. Commercial Nuclear Power Plants", WASH1400 (NUREG-75/014).
- ROED, J. (1981). Undersøgelse af overfladedeposering med henblik på beregning af deponeringen af luftbåret materiale frigjort ved kernenedsmeltning i kraftreaktorer, Forsøgsanlæg Rissø, 4000 Roskilde, Rissø-M-2274.
- STRATTON, W.P., MALINAUSKAS, A.P. and CAMPBELL, D.O. (1980). Letter to chairman Ahearne dated August 14,
- WHITE, P.A.P. and SMITH, S.E. (1964). High-Efficiency Air Filtration. London Butterworths.

ENGELSK RESUMÉ

THE PROTECTIVE EFFECT OF HOUSES ON AIR-POLLUTION EPISODES

J. Roed, H.L. Gjerup, and H. Prip

The time-integrated in- and outdoor air pollution concentration will differ during a pollution episode. The ratio of the former to the latter has been found for 17 Danish dwellings. In 15 of them a separate ratio was found for each room with the inner doors closed. In the last 2 dwellings the inner doors were left open, and for all 17 dwellings the outer doors and windows were kept shut during the measurements.

It has been shown to be convenient to classify the pollutants into three categories:

1. non-reactive gases (e.g. noble gases)
2. non-reactive particles
3. reactive matter (e.g. elementary iodine)

The indoor/outdoor ratio described above has been found for non-reactive gases by using SP_6 as a tracer.

For non-reactive particles the relationship has been found by means of 7Be -marked particles, created by spallation in the atmosphere, and ^{103}Ru -marked particles originating from Chinese nuclear bomb tests in the atmosphere.

In the present investigation the relationship for reactive matter has not been measured. However, from the relevant literature and a comparison of the deposition and filtering mechanism for non-reactive particles and reactive matter a maximum value for the indoor/outdoor relationship for reactive matter has been found.

The relation between the indoor/outdoor ratio and the air exchange velocity has also been investigated and an equation describing it has been established.

The effect of operating a vacuum cleaner during the pollution episode and airing shortly afterward was also investigated. It is found that staying indoors in a normal living-room with closed windows and doors will reduce the aerosol inhalation dose by a factor of about 3. Operating a vacuum cleaner while staying indoors will increase this reduction factor to about 9. Airing one hour after the passage of a plume of three hours duration will raise these two factors to 6 and 12, respectively. The only way to obtain a reduction in inhalation dose from non-depositing gases is by controlled airing. Under the above-mentioned condition, airing will reduce the inhalation dose for non-depositing gases by a factor of about 2.

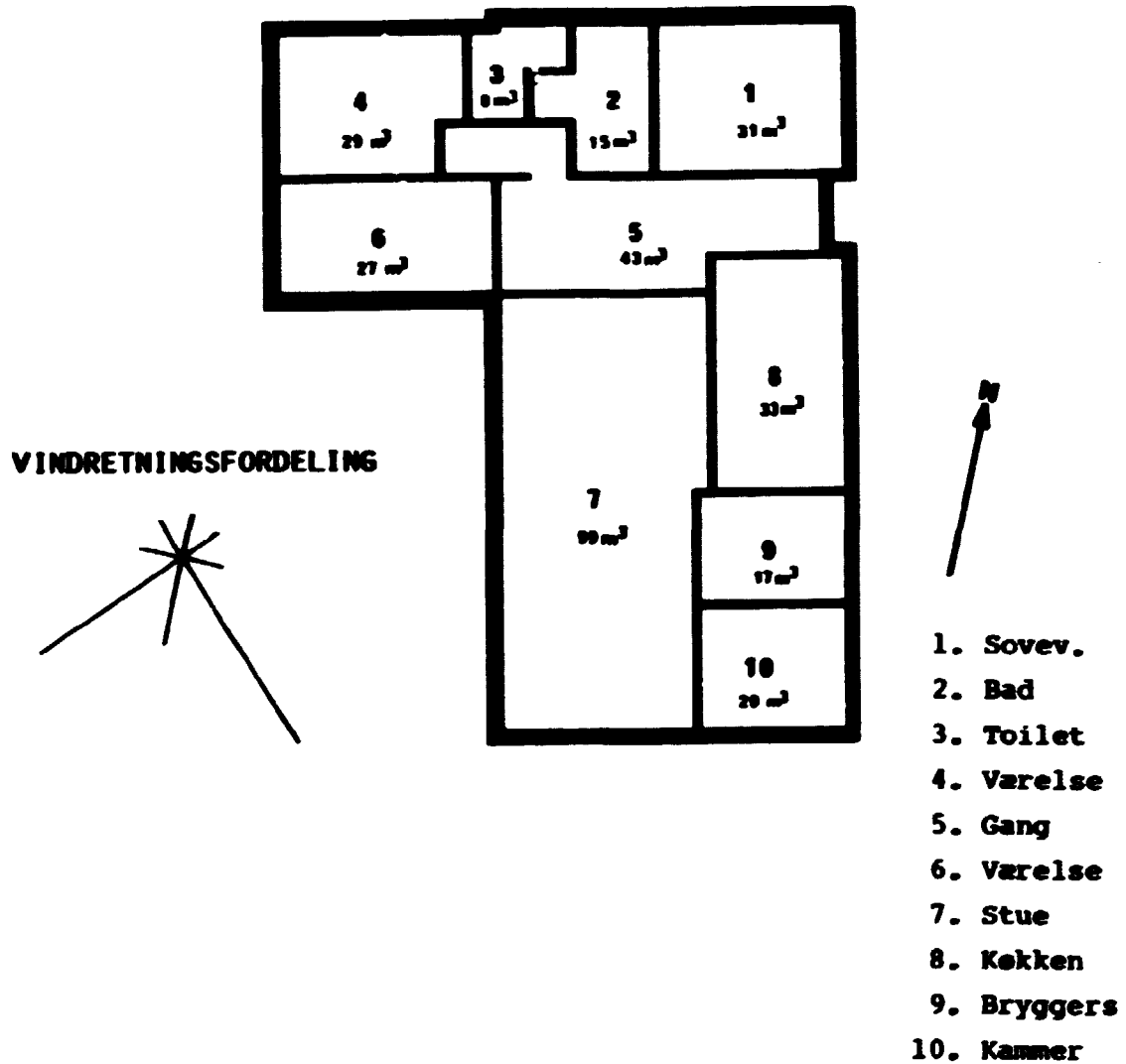
APPENDIKS

Beskrivelse af og tabeller vedrørende de enkelte boliger

- 1. Beskrivelse af hus og af vindretning og styrke under målingerne.**
- 2. Tabeller:**
 - A: lufttransportkoefficienter.**
 - B: overføringsfaktorer for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv gas.**
 - C: Overføringsfaktorer for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol.**

BOLIG NR. 1

SYVHØJVÆNGET 226 ALBERTSLUND



— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 28/6-13/7-80

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	6,25	6,25	6,25	1,25	12,5	25	6,25	6,25

MIDDELVINDHASTIGHED: 4,9 m/s

GENNEMSNI TSUDETEMPERATUR: 16,0°C

Bolig nr. 1

DATO FOR LUFTSKIFTETÆLDELING: 21/8-80

Målested: Sydhøjvangen 226, Albertslund

Luft-transport-koefficienterne b_{ij}

For $i \neq j$ udtrykker b_{ij} den brøddel af luften i rum i , der pr. time bliver tilført rum i fra rum j . For $i=j$ udtrykker transport-koefficienten den brøddel af luften i rum i , der pr. time udskiftes med omgivelserne.

b_{11}	b_{21}	b_{31}	b_{41}	b_{51}	b_{61}	b_{71}	b_{81}	b_{91}	$b_{10.1}$
-0.583	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b_{12}	b_{22}	b_{32}	b_{42}	b_{52}	b_{62}	b_{72}	b_{82}	b_{92}	$b_{10.2}$
0	-1.005	0.087	0	0.035	0	0	0	0	0
b_{13}	b_{23}	b_{33}	b_{43}	b_{53}	b_{63}	b_{73}	b_{83}	b_{93}	$b_{10.3}$
0	0.018	-0.834	0.044	0.058	0	0	0	0	0
b_{14}	b_{24}	b_{34}	b_{44}	b_{54}	b_{64}	b_{74}	b_{84}	b_{94}	$b_{10.4}$
0	0	0.014	-0.198	0	0.030	0	0	0	0
b_{15}	b_{25}	b_{35}	b_{45}	b_{55}	b_{65}	b_{75}	b_{85}	b_{95}	$b_{10.5}$
0.043	0	0.083	0.065	-0.374	0.102	0.081	0	0	0
b_{16}	b_{26}	b_{36}	b_{46}	b_{56}	b_{66}	b_{76}	b_{86}	b_{96}	$b_{10.6}$
0	0	0	0.023	0	-0.284	0	0	0	0
b_{17}	b_{27}	b_{37}	b_{47}	b_{57}	b_{67}	b_{77}	b_{87}	b_{97}	$b_{10.7}$
0	0	0	0	0	0	-0.2385	0	0.111	0
b_{18}	b_{28}	b_{38}	b_{48}	b_{58}	b_{68}	b_{78}	b_{88}	b_{98}	$b_{10.8}$
0	0	0	0	0.044	0	0.484	-1.035	0.106	0
b_{19}	b_{29}	b_{39}	b_{49}	b_{59}	b_{69}	b_{79}	b_{89}	b_{99}	$b_{10.9}$
0	0	0	0	0	0	0.106	0.402	-2.115	0
$b_{1.10}$	$b_{2.10}$	$b_{3.10}$	$b_{4.10}$	$b_{5.10}$	$b_{6.10}$	$b_{7.10}$	$b_{8.10}$	$b_{9.10}$	$b_{10.10}$
0	0	0	0	0	0	0.060	0	0.051	-0.118

Bolig nr. 1

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Syvhøjvangen 226, Albertslund

Dato: 21/8 80

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{oi}(E)$ for sky- passage	0.53	0.63	0.56	0.21	0.11	0.30	0.23	0.38	0.70	0.06
0.5	$D_{oi}(E)$	0.65	0.75	0.67	0.27	0.16	0.39	0.31	0.47	0.80	0.09
1	$D_{oi}(E)$	0.74	0.83	0.75	0.33	0.22	0.46	0.38	0.54	0.85	0.12
1.5	$D_{oi}(E)$	0.80	0.88	0.81	0.38	0.27	0.53	0.44	0.60	0.88	0.15

Bolig nr. 1

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Syvhøjvænget 226, Albertslund

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 28/6-13/7 80

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor $D_{oi}(E)$	Dato for luftskiftemåling: 21/8 80			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{oi}(E)$ min	$\Delta D_{oi}(E)$ max	$D_{oi}(E)$ min	$D_{oi}(E)$ max
1	31	11.58	0.040	0.026	0.026	0.07	0.07
2	15	2.40	>0.027	0.004	0.012	0.03	0.04
3	8	2.28	0.10	0.034	0.047	0.13	0.15
4	29	5.53	0.088	0.086	0.094	0.17	0.18
5	43	15.18	0.034	0.032	0.103	0.07	0.14
6	27	8.46	0.024	0.026	0.034	0.05	0.06
7	99	18.06	0.114	0.087	0.150	0.20	0.26
8	33	21.06	0.077	0.047	0.136	0.12	0.21
9	17	5.82	0.63	0.102	0.135	0.73	0.77
10	20	2.10	0.042	0.037	0.172	0.08	0.21

Tracer:

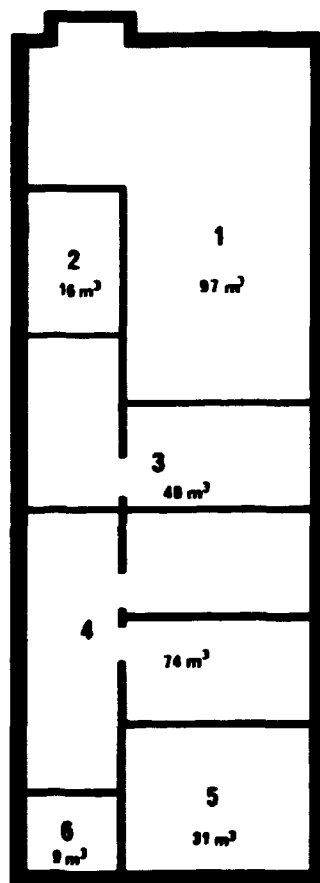
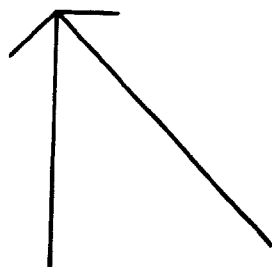
Periode for filtermålinger:

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

RISØHUSE 37

BOLIG NR. 2

VINDRETNINGSFORDELING



N ←

1. Stue
2. Køkken
3. Gang + Kontor
4. Værelse
5. Sovev.
6. Bad

— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 14/11-24/11-80

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	0	0	0	0	9,1	45,5	36,4	9,1

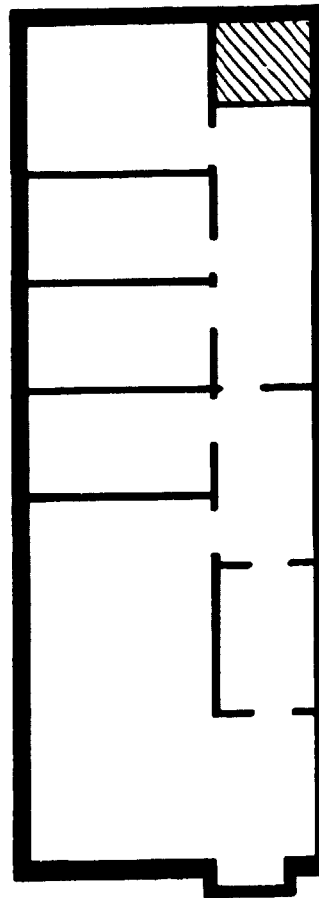
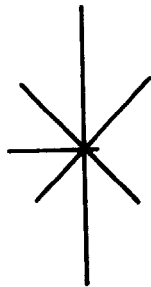
MIDDELVINDHASTIGHED: 8,6 m/s

GENNEMSNI TSUDET EMPERATUR: 8,1°C

RISØHUSE 37

BOLIG NR. 2

VINDRETNINGSFORDELING



HELE HUSET: 250 m²

→ N

→ ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 12/7-25/7-82

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	2	11	19	10	11	13	20	14

MIDDELVINDHASTIGHED: 2,0 m/s

GENNEMSNITSUDETEMPERATUR: 18,6°C

DATE FOR LUFTSKIFTMALING: 20/10-83

Luft-transport-koefficienterne b_{ij}

b ₁₁	b ₂₁	b ₃₁	b ₄₁	b ₅₁	b ₆₁	b ₇₁	b ₈₁	b ₉₁	b _{10,1}
-0.2380	0	0	0	0	0				
b ₁₂	b ₂₂	b ₃₂	b ₄₂	b ₅₂	b ₆₂	b ₇₂	b ₈₂	b ₉₂	b _{10,2}
0,3077	-0.5298	0	0	0	0				
b ₁₃	b ₂₃	b ₃₃	b ₄₃	b ₅₃	b ₆₃	b ₇₃	b ₈₃	b ₉₃	b _{10,3}
0.1442	0.0236	-0.6129	0.3444	0	0				
b ₁₄	b ₂₄	b ₃₄	b ₄₄	b ₅₄	b ₆₄	b ₇₄	b ₈₄	b ₉₄	b _{10,4}
0	0	0.0989	-0.3909	0	0.0494				
b ₁₅	b ₂₅	b ₃₅	b ₄₅	b ₅₅	b ₆₅	b ₇₅	b ₈₅	b ₉₅	b _{10,5}
0	0	0	0	-0.0991	0				
b ₁₆	b ₂₆	b ₃₆	b ₄₆	b ₅₆	b ₆₆	b ₇₆	b ₈₆	b ₉₆	b _{10,6}
0	0	0	0	0	-0.7293				
b ₁₇	b ₂₇	b ₃₇	b ₄₇	b ₅₇	b ₆₇	b ₇₇	b ₈₇	b ₉₇	b _{10,7}
b ₁₈	b ₂₈	b ₃₈	b ₄₈	b ₅₈	b ₆₈	b ₇₈	b ₈₈	b ₉₈	b _{10,8}
b ₁₉	b ₂₉	b ₃₉	b ₄₉	b ₅₉	b ₆₉	b ₇₉	b ₈₉	b ₉₉	b _{10,9}
b _{1,10}	b _{2,10}	b _{3,10}	b _{4,10}	b _{5,10}	b _{6,10}	b _{7,10}	b _{8,10}	b _{9,10}	b _{10,10}

Bolig nr. 2

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Risø huse 37, Roskilde

Dato: 29/10 83

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{oi}(E)$ for sky- passage	0.29	0.27	0.19	0.29	0.13	0.59				
0.5	$D_{oi}(E)$	0.37	0.35	0.26	0.38	0.18	0.72				
1	$D_{oi}(E)$	0.44	0.42	0.33	0.45	0.22	0.80				
1.5	$D_{oi}(E)$	0.50	0.48	0.39	0.52	0.25	0.86				

Bolig nr. 2

Tabel C

Overføringsfaktoren, D_{oi} (E), fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Risøhuse 37, Roskilde

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 14/11-24/11 80

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor D_{oi} (E)	Dato for luftskiftemåling: 20/10 83			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				ΔD_{oi}^{\min} (E)	ΔD_{oi}^{\max} (E)	D_{oi}^{\min} (E)	D_{oi}^{\max} (E)
1	97	12.72	0.22	0.12	0.12	0.34	0.34
2	16	12.06	0.071	0.10	0.17	0.17	0.24
3	40	12.00	0.092	0.05	0.13	0.14	0.22
4	74	8.40	0.138	0.04	0.10	0.18	0.24
5	31	16.74	0.118	0.64	0.64	0.76	0.76
6	9	9.72	0.118	0.17	0.17	0.29	0.29
7							
8							
9							
10							

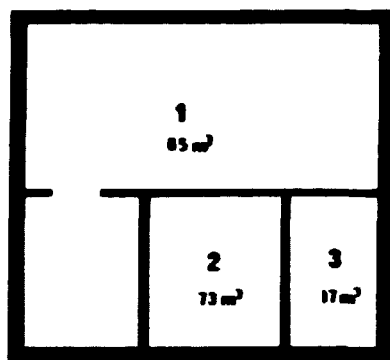
Tracer:

Periode for filtermålinger:

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

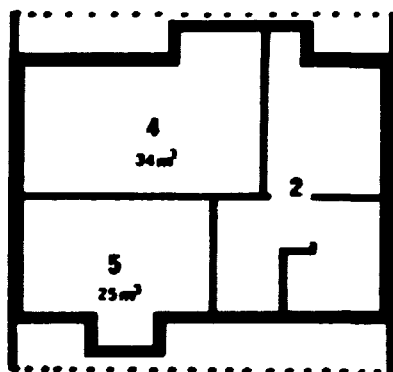
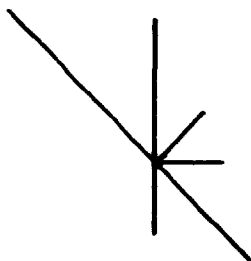
LØVSVINGET 11 VIRUM

BOLIG NR. 3



Grundplan

VINDRETNINGSFORDELING



1. Sal



- 1. Stue
- 2. Gang+
Bad +
Værelse
- 3. Køkken
- 4. Sovev.
- 5. Værelse

— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 7/11-17/11-80

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	10	20	10	0	0	30	20	10

MIDDELVINDHASTIGHED: 5,8 m/s

GENNEMSNI TSUDETEMPERATUR: 4,3°C

DATE FOR LUFTSKIFTNING: 26/3-81

Luft-transport-koefficienterne bij

b ₁₁	b ₂₁	b ₃₁	b ₄₁	b ₅₁	b ₆₁	b ₇₁	b ₈₁	b ₉₁	b _{10,1}
-0.3727	0.0021	0.0263	0	0					
b ₁₂	b ₂₂	b ₃₂	b ₄₂	b ₅₂	b ₆₂	b ₇₂	b ₈₂	b ₉₂	b _{10,2}
0.1145	-1.0722	0	0.0097	0					
b ₁₃	b ₂₃	b ₃₃	b ₄₃	b ₅₃	b ₆₃	b ₇₃	b ₈₃	b ₉₃	b _{10,3}
0.1190	0.4165	-1.3029	0	0					
b ₁₄	b ₂₄	b ₃₄	b ₄₄	b ₅₄	b ₆₄	b ₇₄	b ₈₄	b ₉₄	b _{10,4}
0.0062	0.0349	0	-0.6877	0.0139					
b ₁₅	b ₂₅	b ₃₅	b ₄₅	b ₅₅	b ₆₅	b ₇₅	b ₈₅	b ₉₅	b _{10,5}
0.0020	0.5426	0	0.0050	-0.6557					
b ₁₆	b ₂₆	b ₃₆	b ₄₆	b ₅₆	b ₆₆	b ₇₆	b ₈₆	b ₉₆	b _{10,6}
b ₁₇	b ₂₇	b ₃₇	b ₄₇	b ₅₇	b ₆₇	b ₇₇	b ₈₇	b ₉₇	b _{10,7}
b ₁₈	b ₂₈	b ₃₈	b ₄₈	b ₅₈	b ₆₈	b ₇₈	b ₈₈	b ₉₈	b _{10,8}
b ₁₉	b ₂₉	b ₃₉	b ₄₉	b ₅₉	b ₆₉	b ₇₉	b ₈₉	b ₉₉	b _{10,9}
b _{1,10}	b _{2,10}	b _{3,10}	b _{4,10}	b _{5,10}	b _{6,10}	b _{7,10}	b _{8,10}	b _{9,10}	b _{10,10}

Bolig nr. 3

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Løvsvinget 11, Virum

Dato: 26/3 81

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{oi}(E)$ for sky- passage	0.38	0.65	0.60	0.55	0.35					
0.5	$D_{oi}(E)$	0.48	0.77	0.73	0.67	0.47					
1	$D_{oi}(E)$	0.57	0.84	0.81	0.76	0.57					
1.5	$D_{oi}(E)$	0.64	0.89	0.86	0.83	0.66					

Bolig nr. 3

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Løvsvinget 11, Virum

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 7/11-17/11 80

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor $D_{oi}(E)$	Dato for luftskiftmåling: 26/3 81			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{oi}^{\min}(E)$	$\Delta D_{oi}^{\max}(E)$	$D_{oi}^{\min}(E)$	$D_{oi}^{\max}(E)$
1	85	10.38	0.31	0.10	0.12	0.41	0.43
2	73	6.84	0.33	0.03	0.04	0.36	0.37
3	17	8.10	0.46	0.17	0.19	0.63	0.65
4	34	9.06	0.19	0.07	0.08	0.26	0.27
5	25	7.38	0.19	0.09	0.12	0.28	0.31
6							
7							
8							
9							
10							

Tracer:

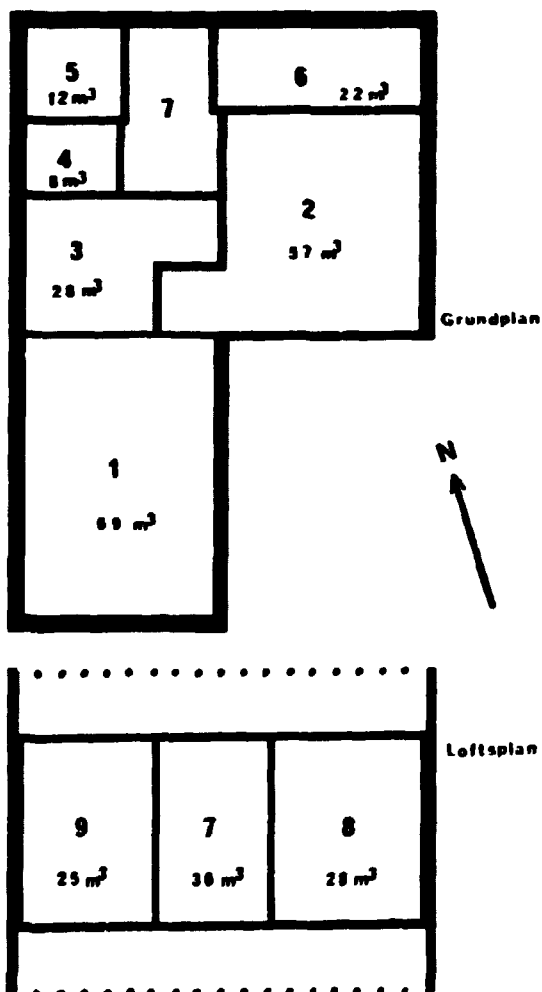
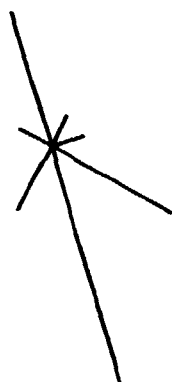
Periode for filtermålinger:

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

HANS NIELSENSVEJ 1 LUMSÅS

BOLIG NR. 4

VINDRETNINGSFORDELING



1. Butik
2. Stue
3. Puslerum
4. Toilet
5. Fyrrum
6. Køkken
7. Gang
8. Sovev.
9. Værelse

— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 28/4-17/5-80

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	20	5	5	20	35	10	0	5

MIDDELVINDHASTIGHED: 4,1 m/s

GENNEMSNITSUDETTEMPERATUR: 8,8°C

Luft-transport-koefficienterne bij

b ₁₁	b ₂₁	b ₃₁	b ₄₁	b ₅₁	b ₆₁	b ₇₁	b ₈₁	b ₉₁	b _{10,1}
-1.0042	0.1200	0.0667	0	0	0	0	0		
b ₁₂	b ₂₂	b ₃₂	b ₄₂	b ₅₂	b ₆₂	b ₇₂	b ₈₂	b ₉₂	b _{10,2}
0.2165	-0.4159	0.0488	0	0	0	0	0		
b ₁₃	b ₂₃	b ₃₃	b ₄₃	b ₅₃	b ₆₃	b ₇₃	b ₈₃	b ₉₃	b _{10,3}
0	0	-0.5663	0	0	0	0.2223	0		
b ₁₄	b ₂₄	b ₃₄	b ₄₄	b ₅₄	b ₆₄	b ₇₄	b ₈₄	b ₉₄	b _{10,4}
0	0	0	-0.7517	0	0	0.3575	0		
b ₁₅	b ₂₅	b ₃₅	b ₄₅	b ₅₅	b ₆₅	b ₇₅	b ₈₅	b ₉₅	b _{10,5}
0	0	0	0.2391	-3.7864	0	0.2391	0		
b ₁₆	b ₂₆	b ₃₆	b ₄₆	b ₅₆	b ₆₆	b ₇₆	b ₈₆	b ₉₆	b _{10,6}
0	0.1992	0	0	0	-0.6349	0	-0.0382		
b ₁₇	b ₂₇	b ₃₇	b ₄₇	b ₅₇	b ₆₇	b ₇₇	b ₈₇	b ₉₇	b _{10,7}
0	0.0800	0.0148	0.1078	0.0352	0.1877	-0.9642	0.1044		
b ₁₈	b ₂₈	b ₃₈	b ₄₈	b ₅₈	b ₆₈	b ₇₈	b ₈₈	b ₉₈	b _{10,8}
0	0.0442	0	0	0	0	0.0365	-0.3854		
b ₁₉	b ₂₉	b ₃₉	b ₄₉	b ₅₉	b ₆₉	b ₇₉	b ₈₉	b ₉₉	b _{10,9}
b _{1,10}	b _{2,10}	b _{3,10}	b _{4,10}	b _{5,10}	b _{6,10}	b _{7,10}	b _{8,10}	b _{9,10}	b _{10,10}

Bolig nr. 4

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Hans Nielsensvej 1, Lumsås

Dato: 19/3 81

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{oi}(E)$ for sky- passage	0.59	0.28	0.40	0.41	0.84	0.38	0.42	0.35		
0.5	$D_{oi}(E)$	0.71	0.37	0.50	0.51	0.92	0.48	0.52	0.44		
1	$D_{oi}(E)$	0.78	0.45	0.59	0.60	0.94	0.56	0.61	0.52		
1.5	$D_{oi}(E)$	0.84	0.53	0.66	0.67	0.95	0.62	0.67	0.59		

Bolig nr. 4

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Hans Nielsensvej 1, Lumsås

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 28/4-17/5 80

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor $D_{oi}(E)$	Dato for luftskiftmåling: 19/3 81			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{oi}^{\min}(E)$	$\Delta D_{oi}^{\max}(E)$	$D_{oi}(E)$ min	$D_{oi}(E)$ max
1	69	7.26	0.52	0.05	0.09	0.57	0.61
2	57	7.68	0.28	0.09	0.17	0.37	0.45
3	28	10.62	0.21	0.14	0.24	0.35	0.45
4	8	9.12	0.19	0.29	0.38	0.48	0.57
5	12	8.28	0.47	0.08	0.13	0.55	0.60
6	22	5.34	0.12	0.05	0.10	0.17	0.22
7	36	18.00	0.34	0.18	0.27	0.52	0.61
8	28	6.78	0.098	0.06	0.11	0.16	0.21
9							
10							

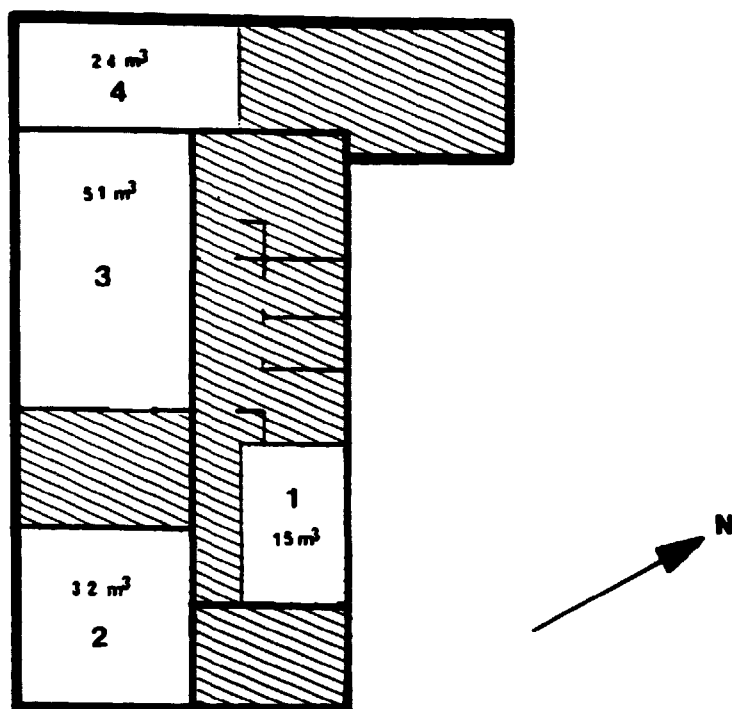
Tracer:

Periode for filtermålinger:

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

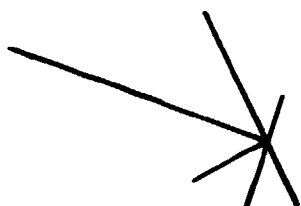
BOLIG NR. 5

HARALDSBORGVEJ 50



VINDRETNINGSFORDELING

- 1. Værelse
- 2. Sovev.
- 3. Stue
- 4. Køkken



— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 25/4-2/5 79

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	0	0	10	10	12	40	21	7

MIDDELVINDHASTIGHED: 2,7 m/s

GENNEMSNI TSUDET EMPERATUR: 5,5°C

DATE FOR LUFTSKIFTMÅLING: 30/3-81

Luft-transport-koefficienterne bij

b ₁₁	b ₂₁	b ₃₁	b ₄₁	b ₅₁	b ₆₁	b ₇₁	b ₈₁	b ₉₁	b _{10,1}
-0.6671	0	0	0	0					
b ₁₂	b ₂₂	b ₃₂	b ₄₂	b ₅₂	b ₆₂	b ₇₂	b ₈₂	b ₉₂	b _{10,2}
0	-0.6584	0.0185	0	0					
b ₁₃	b ₂₃	b ₃₃	b ₄₃	b ₅₃	b ₆₃	b ₇₃	b ₈₃	b ₉₃	b _{10,3}
0	0	-0.6832	0.0180	0.1097					
b ₁₄	b ₂₄	b ₃₄	b ₄₄	b ₅₄	b ₆₄	b ₇₄	b ₈₄	b ₉₄	b _{10,4}
0	0	0.2689	-1.1071	0.6331					
b ₁₅	b ₂₅	b ₃₅	b ₄₅	b ₅₅	b ₆₅	b ₇₅	b ₈₅	b ₉₅	b _{10,5}
0.1020	0.1295	0	0.0241	-1.7498					
b ₁₆	b ₂₆	b ₃₆	b ₄₆	b ₅₆	b ₆₆	b ₇₆	b ₈₆	b ₉₆	b _{10,6}
b ₁₇	b ₂₇	b ₃₇	b ₄₇	b ₅₇	b ₆₇	b ₇₇	b ₈₇	b ₉₇	b _{10,7}
b ₁₈	b ₂₈	b ₃₈	b ₄₈	b ₅₈	b ₆₈	b ₇₈	b ₈₈	b ₉₈	b _{10,8}
b ₁₉	b ₂₉	b ₃₉	b ₄₉	b ₅₉	b ₆₉	b ₇₉	b ₈₉	b ₉₉	b _{10,9}
b _{1,10}	b _{2,10}	b _{3,10}	b _{4,10}	b _{5,10}	b _{6,10}	b _{7,10}	b _{8,10}	b _{9,10}	b _{10,10}

Bolig nr. 5 + 17

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Haraldsborgvej 50 + 70, Roskilde

Dato: 30/3 81

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{oi}(E)$ for sky- passage	0.58	0.56	0.54	0.49	0.75					
0.5	$D_{oi}(E)$	0.70	0.68	0.66	0.62	0.86					
1	$D_{oi}(E)$	0.79	0.77	0.75	0.73	0.92					
1.5	$D_{oi}(E)$	0.85	0.83	0.82	0.81	0.95					

Bolig nr. 5

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Haraldsborgvej 50, Roskilde

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 25/4-2/5 79

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor m $D_{oi}(E)$	Dato for luftskiftemåling: 30/3 81			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{oi}^{\min}(E)$	$\Delta D_{oi}^{\max}(E)$	$D_{oi}^{\min}(E)$	$D_{oi}^{\max}(E)$
1	15	4.08	0.150	0.06	0.06	0.21	0.21
2	32	13.4	0.081	0.05	0.05	0.13	0.13
3	51	4.47	0.161	0.02	0.02	0.18	0.18
4	24	6.01	0.202	0.05	0.05	0.25	0.25
5							
6							
7							
8							
9							
10							

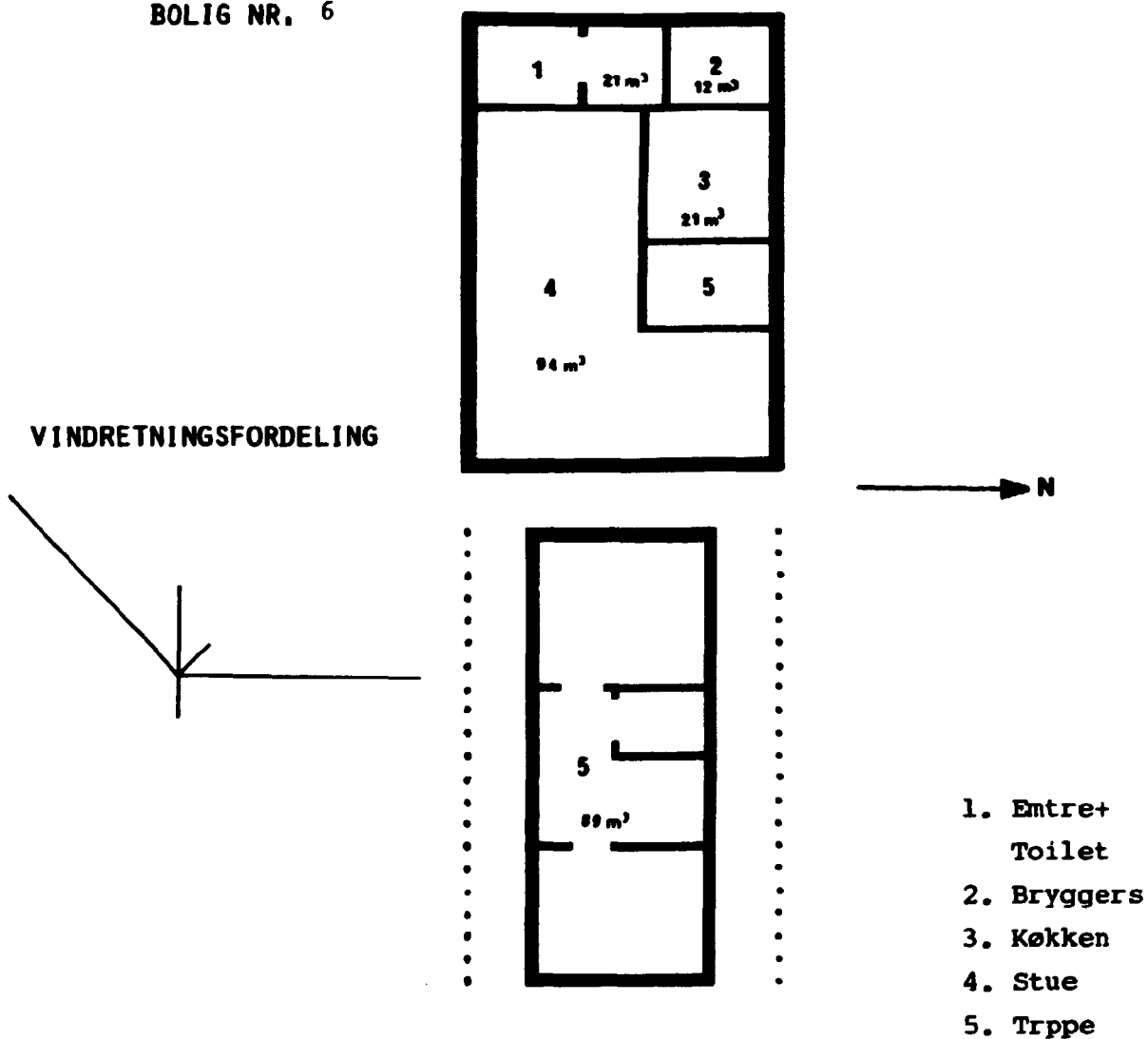
Tracer:

Periode for filtermålinger:

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

GL. RINGSTEDVEJ 20 KØGE

BOLIG NR. 6



— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN : 25/11-10/12-80

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	37,5	0	6,3	0	0	37,5	13,0	6,25

MIDDELVINDHASTIGHED: 5,9 m/s

GENNEMSNITSUDETEMPERATUR: -0,6°C

DATE FOR LUFTSKIFTMALING: 10/12-80

Luft-transport-koefficienterne bij

b ₁₁	b ₂₁	b ₃₁	b ₄₁	b ₅₁	b ₆₁	b ₇₁	b ₈₁	b ₉₁	b _{10,1}
-1.8518	0	0	0.2590	0					
b ₁₂	b ₂₂	b ₃₂	b ₄₂	b ₅₂	b ₆₂	b ₇₂	b ₈₂	b ₉₂	b _{10,2}
0	-2.9986	0	0	0					
b ₁₃	b ₂₃	b ₃₃	b ₄₃	b ₅₃	b ₆₃	b ₇₃	b ₈₃	b ₉₃	b _{10,3}
0	0.5137	-2.112	0.3893	0.1910					
b ₁₄	b ₂₄	b ₃₄	b ₄₄	b ₅₄	b ₆₄	b ₇₄	b ₈₄	b ₉₄	b _{10,4}
0.2895	0	0.0348	-0.7322	0.1538					
b ₁₅	b ₂₅	b ₃₅	b ₄₅	b ₅₅	b ₆₅	b ₇₅	b ₈₅	b ₉₅	b _{10,5}
0.0129	0.0306	0.1013	0.1170	-0.7876					
b ₁₆	b ₂₆	b ₃₆	b ₄₆	b ₅₆	b ₆₆	b ₇₆	b ₈₆	b ₉₆	b _{10,6}
b ₁₇	b ₂₇	b ₃₇	b ₄₇	b ₅₇	b ₆₇	b ₇₇	b ₈₇	b ₉₇	b _{10,7}
b ₁₈	b ₂₈	b ₃₈	b ₄₈	b ₅₈	b ₆₈	b ₇₈	b ₈₈	b ₉₈	b _{10,8}
b ₁₉	b ₂₉	b ₃₉	b ₄₉	b ₅₉	b ₆₉	b ₇₉	b ₈₉	b ₉₉	b _{10,9}
b _{1,10}	b _{2,10}	b _{3,10}	b _{4,10}	b _{5,10}	b _{6,10}	b _{7,10}	b _{8,10}	b _{9,10}	b _{10,10}

Bolig nr. 6

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Gl. Ringstedvej, Køge

Dato: 10/12 80

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{oi}(E)$ for sky- passage	0.75	0.89	0.68	0.44	0.52					
0.5	$D_{oi}(E)$	0.86	0.98	0.80	0.56	0.64					
1	$D_{oi}(E)$	0.91	0.99	0.86	0.66	0.73					
1.5	$D_{oi}(E)$	0.94	1.00	0.90	0.74	0.80					

Bolig nr. 6

Tabel C

Overføringsfaktoren, D_{oi} (E), fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Gl. Ringstedvej 20, Køge

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 25/11-10/12 80

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor D_{oi} (E)	Dato for luftskiftemåling: 10/12 80			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				ΔD_{oi}^{\min} (E)	ΔD_{oi}^{\max} (E)	D_{oi}^{\min} (E)	D_{oi}^{\max}
1	21	2.76	0.65	0.05	0.06	0.70	0.71
2	12	2.76	0.34	0.03	0.03	0.37	0.37
3	21	2.94	0.47	0.03	0.06	0.50	0.53
4	94	5.16	0.58	0.04	0.09	0.62	0.67
5	89	9.06	0.45	0.06	0.08	0.51	0.53
6							
7							
8							
9							
10							

Tracer: ^{103}Ru

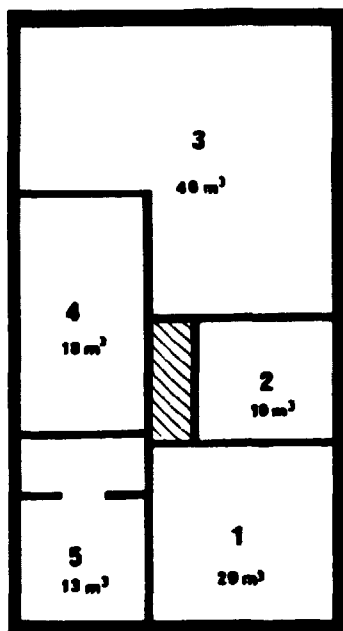
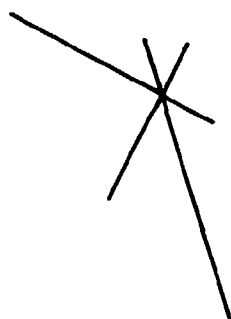
Periode for filtermålinger: 25/11-10/12 80

1	21	ikke målt					
2	12	2.76	0.36	0.03	0.03	0.39	0.39
3	21	2.94	0.41	0.03	0.05	0.44	0.46
4	94	5.16	0.56	0.04	0.06	0.60	0.62
5	89	9.06	0.38	0.05	0.07	0.43	0.45
6							
7							
8							
9							
10							

BOLIG NR. 7

HASSELSTRÆDET 3a

VINDRETNINGSFORDELING



- 1. Sovev.
- 2. Entre
- 3. Stue
- 4. Køkken
- 5. Gang + Toilet

— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 6/1-18/1-82

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	25,0	8,3	8,3	0	8,3	33,3	16,7	0

MIDDELVINDHASTIGHED: 6,9 m/s

GENNEMSNI TSUDETEMPERATUR: -1,9°C

DATE FOR LUFTSKIFTNING: 15/11-83

Luft-transport-koefficienterne bij

b ₁₁	b ₂₁	b ₃₁	b ₄₁	b ₅₁	b ₆₁	b ₇₁	b ₈₁	b ₉₁	b _{10,1}
-1.4759	0.1023	0	0	0					
b ₁₂	b ₂₂	b ₃₂	b ₄₂	b ₅₂	b ₆₂	b ₇₂	b ₈₂	b ₉₂	b _{10,2}
0.3991	-2.0660	0.1517	0	0					
b ₁₃	b ₂₃	b ₃₃	b ₄₃	b ₅₃	b ₆₃	b ₇₃	b ₈₃	b ₉₃	b _{10,3}
0	0	-0.4619	0.1795	0					
b ₁₄	b ₂₄	b ₃₄	b ₄₄	b ₅₄	b ₆₄	b ₇₄	b ₈₄	b ₉₄	b _{10,4}
0	0	0.0570	-1.1017	0.1567					
b ₁₅	b ₂₅	b ₃₅	b ₄₅	b ₅₅	b ₆₅	b ₇₅	b ₈₅	b ₉₅	b _{10,5}
0	0	0	0.0846	-1.5515					
b ₁₆	b ₂₆	b ₃₆	b ₄₆	b ₅₆	b ₆₆	b ₇₆	b ₈₆	b ₉₆	b _{10,6}
b ₁₇	b ₂₇	b ₃₇	b ₄₇	b ₅₇	b ₆₇	b ₇₇	b ₈₇	b ₉₇	b _{10,7}
b ₁₈	b ₂₈	b ₃₈	b ₄₈	b ₅₈	b ₆₈	b ₇₈	b ₈₈	b ₉₈	b _{10,8}
b ₁₉	b ₂₉	b ₃₉	b ₄₉	b ₅₉	b ₆₉	b ₇₉	b ₈₉	b ₉₉	b _{10,9}
b _{1,10}	b _{2,10}	b _{3,10}	b _{4,10}	b _{5,10}	b _{6,10}	b _{7,10}	b _{8,10}	b _{9,10}	b _{10,10}

Bolig nr. 7

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Hasselstrædet 3A, Ferslev

Dato: 18/11 83

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{oi}(E)$ for sky- passage	0.76	0.75	0.38	0.65	0.77					
0.5	$D_{oi}(E)$	0.88	0.87	0.48	0.78	0.89					
1	$D_{oi}(E)$	0.94	0.92	0.58	0.86	0.94					
1.5	$D_{oi}(E)$	0.97	0.95	0.65	0.91	0.97					

Bolig nr. 7

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Hasselstrædet 3 A, Ferslev

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 6/1-18/1 81

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor $D_{oi}(E)$	Dato for luftskiftmåling: 15/11 83			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{oi}^{\min}(E)$	$\Delta D_{oi}^{\max}(E)$	$D_{oi}(E)$ min	max
1	20	5.94	0.40	0.08	0.09	0.48	0.49
2	10	1.26	0.67	0.04	0.07	0.71	0.74
3	46	8.10	0.35	0.13	0.16	0.48	0.51
4	18	2.34	0.52	0.06	0.08	0.58	0.60
5	13	5.04	0.13	0.03	0.04	0.16	0.17
6							
7							
8							
9							
10							

Tracer: ^{103}Ru

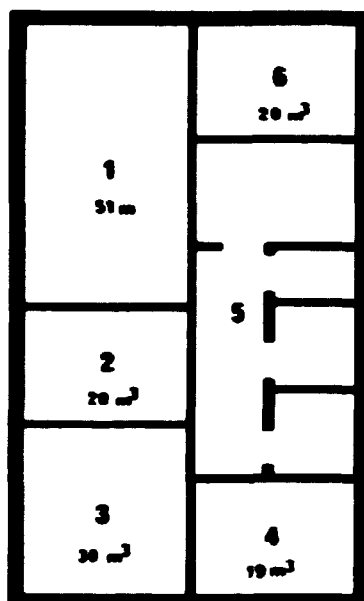
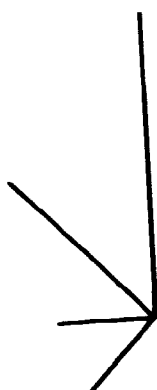
Periode for filtermålinger: 6/1-18/1 81

1	20	5.94	0.37	0.07	0.08	0.44	0.45
2	10	1.26	0.70	0.04	0.07	0.74	0.77
3	46	8.10	0.40	0.15	0.17	0.45	0.47
4	18	2.34	0.41	0.05	0.06	0.46	0.47
5	13	5.04	0.12	0.03	0.03	0.15	0.15
6							

BOLIG NR. 8

BAKKESVINGE 1 4

VINDRETNINGSFORDELING



1. Stue
2. Værelse
3. Sovev.
4. Kammer
5. Toilet +
Bad +
Gang +
Køkken
6. Bryggers

— VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 20/10-26/10-80

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	0	0	0	14,3	14,3	28,6	42,9	0

MIDDELVINDHASTIGHED: 6,4 m/s

GENNEMSNI TSUDET EMPERATUR: 6,9°C

Luft-transport-coëfficiënten bij

b ₁₁	b ₂₁	b ₃₁	b ₄₁	b ₅₁	b ₆₁	b ₇₁	b ₈₁	b ₉₁	b _{10,1}
-0.4175	0.0069	0	0	0.0134	0				
b ₁₂	b ₂₂	b ₃₂	b ₄₂	b ₅₂	b ₆₂	b ₇₂	b ₈₂	b ₉₂	b _{10,2}
0	-0.4539	0.0112	0	0.1377	0				
b ₁₃	b ₂₃	b ₃₃	b ₄₃	b ₅₃	b ₆₃	b ₇₃	b ₈₃	b ₉₃	b _{10,3}
0	0.200	-0.2855	0.0214	0.0104	0				
b ₁₄	b ₂₄	b ₃₄	b ₄₄	b ₅₄	b ₆₄	b ₇₄	b ₈₄	b ₉₄	b _{10,4}
0	0	0	-0.6736	0.0252	0				
b ₁₅	b ₂₅	b ₃₅	b ₄₅	b ₅₅	b ₆₅	b ₇₅	b ₈₅	b ₉₅	b _{10,5}
0.0792	0.0387	0.0276	0.1289	-0.5342	0				
b ₁₆	b ₂₆	b ₃₆	b ₄₆	b ₅₆	b ₆₆	b ₇₆	b ₈₆	b ₉₆	b _{10,6}
0	0	0	0	0	-1.4915				
b ₁₇	b ₂₇	b ₃₇	b ₄₇	b ₅₇	b ₆₇	b ₇₇	b ₈₇	b ₉₇	b _{10,7}
b ₁₈	b ₂₈	b ₃₈	b ₄₈	b ₅₈	b ₆₈	b ₇₈	b ₈₈	b ₉₈	b _{10,8}
b ₁₉	b ₂₉	b ₃₉	b ₄₉	b ₅₉	b ₆₉	b ₇₉	b ₈₉	b ₉₉	b _{10,9}
b _{1,10}	b _{2,10}	b _{3,10}	b _{4,10}	b _{5,10}	b _{6,10}	b _{7,10}	b _{8,10}	b _{9,10}	b _{10,10}

Bolig nr. 8

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Bakkesvinget 4, Roskilde

Dato: 11/3 80

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{oi}(E)$ for sky- passage	0.41	0.34	0.13	0.56	0.34	0.78				
0.5	$D_{oi}(E)$	0.52	0.43	0.19	0.68	0.43	0.90				
1	$D_{oi}(E)$	0.60	0.51	0.24	0.76	0.52	0.95				
1.5	$D_{oi}(E)$	0.68	0.58	0.30	0.83	0.59	0.98				

Bolig nr. 8

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Bakkesvinget 4, Roskilde

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 20/10-26/10 80

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor $D_{oi}(E)$	Dato for luftskiftemåling: 4/3 81			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{oi}^{\min}(E)$	$\Delta D_{oi}^{\max}(E)$	$D_{oi}(E)$ min	max
1	51	6.78	0.29	0.09	0.10	0.38	0.39
2	20	2.82	0.26	0.08	0.12	0.34	0.38
3	30	3.30	0.35	0.14	0.23	0.49	0.58
4	19	2.40	0.36	0.07	0.07	0.43	0.43
5	56	6.72	0.30	0.07	0.12	0.37	0.42
6	20	19.80	0.19	0.13	0.13	0.32	0.32
7							
8							
9							
10							

Tracer:

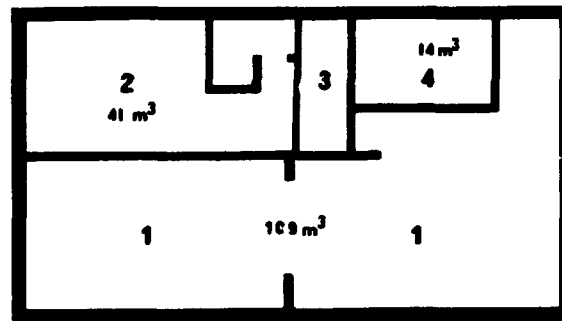
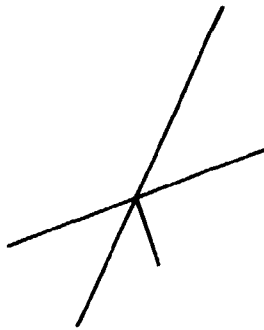
Periode for filtermålinger:

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

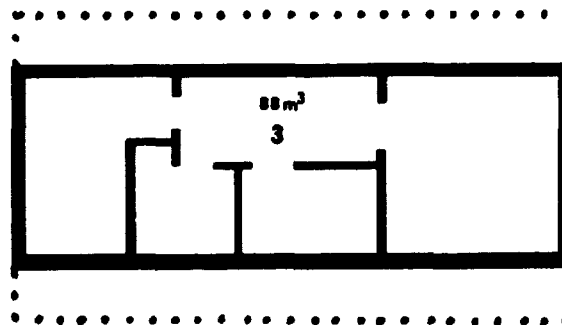
BOLIG NR. 9

LYNGGÅRDEN LUMSÅS

VINDRETNINGSFORDELING



Grundplan



Loftsplan

- 1. Stue
- 2. Kokken+
Toilet
- 3. Gang
- 4. Bad

— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN : 26/10-11/11-80

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	0	30	20	0	10	20	20	0

MIDDELVINDHASTIGHED: 6,2 m/s

GENNEMSNITSUDETEMPERATUR: 5,5°C

DATE FOR LUFTSKIFTMÅLING: 18/3-81

Luft-transport-koefficienterne b_{ij}

b ₁₁	b ₂₁	b ₃₁	b ₄₁	b ₅₁	b ₆₁	b ₇₁	b ₈₁	b ₉₁	b _{10,1}
-0.7880	0.1538	0	0						
b ₁₂	b ₂₂	b ₃₂	b ₄₂	b ₅₂	b ₆₂	b ₇₂	b ₈₂	b ₉₂	b _{10,2}
0.7184	-0.9825	0	0						
b ₁₃	b ₂₃	b ₃₃	b ₄₃	b ₅₃	b ₆₃	b ₇₃	b ₈₃	b ₉₃	b _{10,3}
0.1037	0.2602	-1.1747	0.0278						
b ₁₄	b ₂₄	b ₃₄	b ₄₄	b ₅₄	b ₆₄	b ₇₄	b ₈₄	b ₉₄	b _{10,4}
0.1598	0	0.0338	-0.5505						
b ₁₅	b ₂₅	b ₃₅	b ₄₅	b ₅₅	b ₆₅	b ₇₅	b ₈₅	b ₉₅	b _{10,5}
b ₁₆	b ₂₆	b ₃₆	b ₄₆	b ₅₆	b ₆₆	b ₇₆	b ₈₆	b ₉₆	b _{10,6}
b ₁₇	b ₂₇	b ₃₇	b ₄₇	b ₅₇	b ₆₇	b ₇₇	b ₈₇	b ₉₇	b _{10,7}
b ₁₈	b ₂₈	b ₃₈	b ₄₈	b ₅₈	b ₆₈	b ₇₈	b ₈₈	b ₉₈	b _{10,8}
b ₁₉	b ₂₉	b ₃₉	b ₄₉	b ₅₉	b ₆₉	b ₇₉	b ₈₉	b ₉₉	b _{10,9}
b _{1,10}	b _{2,10}	b _{3,10}	b _{4,10}	b _{5,10}	b _{6,10}	b _{7,10}	b _{8,10}	b _{9,10}	b _{10,10}

Bolig nr. 9

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
ingegralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Lynggården, Lumsås

Dato: 18/3 81

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{oi}(E)$ for sky- passage	0.54	0.41	0.57	0.41						
0.5	$D_{oi}(E)$	0.65	0.53	0.69	0.52						
1	$D_{oi}(E)$	0.74	0.63	0.77	0.61						
1.5	$D_{oi}(E)$	0.80	0.71	0.83	0.69						

Bolig nr. 9

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Lynggården, Lumsås

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 26/10-11/11 80

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor $D_{oi}(E)$	Dato for luftskiftemåling: 18/3 81			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{oi}(E)$ min	$\Delta D_{oi}(E)$ max	$D_{oi}(E)$ min	$D_{oi}(E)$ max
1	109	14.34	0.44	0.09	0.13	0.53	0.57
2	41	17.64	0.35	0.13	0.22	0.48	0.57
3	88	14.88	0.35	0.06	0.13	0.41	0.48
4	14	17.64	0.15	0.28	0.32	0.43	0.47
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Tracer: ^{103}Ru

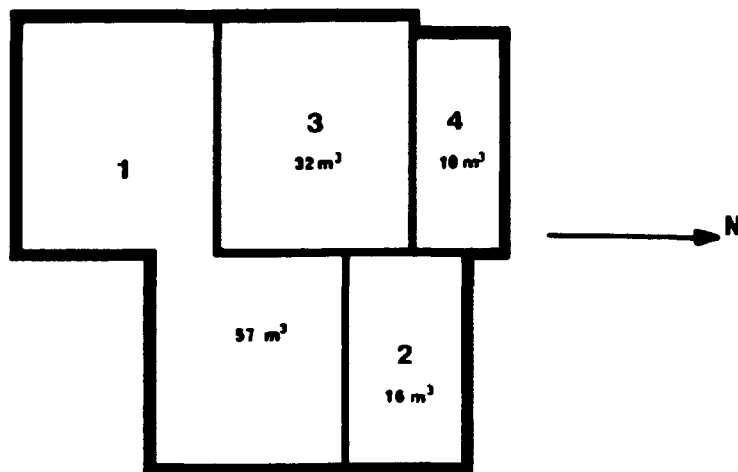
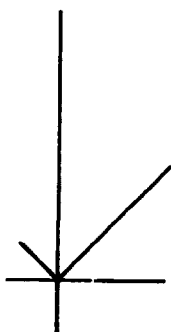
Periode for filtermålinger: 26/10-11/11 80

1	109	14.34	0.40	0.07	0.10	0.47	0.50
2	41	17.64	0.21	0.10	0.18	0.31	0.39
3	88	14.88	0.29	0.04	0.09	0.33	0.38
4	14	17.64	0.13	0.30	0.33	0.43	0.46
5							
6							
7							
8							
9							
10							

BOLIG NR. 10

CHRISTIANHOLMS PARALLELVEJ 7²
KLAMPENBORG

VINDRETNINGSFORDELING



- 1. Stue
- 2. Køkken
- 3. Sovev.
- 4. Toilet

—→ ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 2/2-16/2-81

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	15,4	0	7,7	0	7,7	7,7	38,5	23,1

MIDDELVINDHASTIGHED: 8,3 m/s

GENNEMSNITSUDETTEMPERATUR: 1,6°C

Bolig nr. 10

DATE FOR LUFTSKIFTEMÅLING: 26/1-81

Målested: Chr. Holms Parallelsvej 7, Klampenborg

Luft-transport-koefficienterne bij

For $i \neq j$ udtrykker b_{ij} den brøkdel af luften i rum i , der pr. time bliver tilført rum i fra rum j . For $i=j$ udtrykker transport-koefficienten den brøkdel af luften i rum i , der pr. time udskiftes med omgivelserne.

b ₁₁	b ₂₁	b ₃₁	b ₄₁	b ₅₁	b ₆₁	b ₇₁	b ₈₁	b ₉₁	b _{10,1}
-3.0636	0.2613	0.1787	0						
b ₁₂	b ₂₂	b ₃₂	b ₄₂	b ₅₂	b ₆₂	b ₇₂	b ₈₂	b ₉₂	b _{10,2}
0.0272	-0.8571	0.3584	0.0047						
b ₁₃	b ₂₃	b ₃₃	b ₄₃	b ₅₃	b ₆₃	b ₇₃	b ₈₃	b ₉₃	b _{10,3}
0.0711	0.3517	-0.5979	0.1624						
b ₁₄	b ₂₄	b ₃₄	b ₄₄	b ₅₄	b ₆₄	b ₇₄	b ₈₄	b ₉₄	b _{10,4}
0	0.0643	0.3905	-0.6820						
b ₁₅	b ₂₅	b ₃₅	b ₄₅	b ₅₅	b ₆₅	b ₇₅	b ₈₅	b ₉₅	b _{10,5}
b ₁₆	b ₂₆	b ₃₆	b ₄₆	b ₅₆	b ₆₆	b ₇₆	b ₈₆	b ₉₆	b _{10,6}
b ₁₇	b ₂₇	b ₃₇	b ₄₇	b ₅₇	b ₆₇	b ₇₇	b ₈₇	b ₉₇	b _{10,7}
b ₁₈	b ₂₈	b ₃₈	b ₄₈	b ₅₈	b ₆₈	b ₇₈	b ₈₈	b ₉₈	b _{10,8}
b ₁₉	b ₂₉	b ₃₉	b ₄₉	b ₅₉	b ₆₉	b ₇₉	b ₈₉	b ₉₉	b _{10,9}
b _{1,10}	b _{2,10}	b _{3,10}	b _{4,10}	b _{5,10}	b _{6,10}	b _{7,10}	b _{8,10}	b _{9,10}	b _{10,10}

Bolig nr. 10

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{0i}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Christianholms Parallelsvej 7, Klampenborg

Dato: 26/1 81

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{0i}(E)$ for sky- passage	0.43	0.39	0.16	0.25						
0.5	$D_{0i}(E)$	0.52	0.48	0.23	0.32						
1	$D_{0i}(E)$	0.59	0.55	0.30	0.38						
1.5	$D_{0i}(E)$	0.64	0.60	0.36	0.44						

Bolig nr. 10

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Christianholms Parallelvej 72, Klampenborg

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 2/2-16/2 81

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor $D_{oi}(E)$	Dato for luftskiftmåling: 26/1 81			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{oi}(E)$ min	$\Delta D_{oi}(E)$ max	$D_{oi}(E)$ min	$D_{oi}(E)$ max
1	57	15.96	0.32	0.03	0.19	0.35	0.51
2	16	3.66	0.22	0.06	0.22	0.28	0.44
3	32	6.90	0.35	0.13	0.36	0.48	0.71
4	10	2.28	0.24	0.08	0.31	0.32	0.55
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Tracer: ^{103}Ru

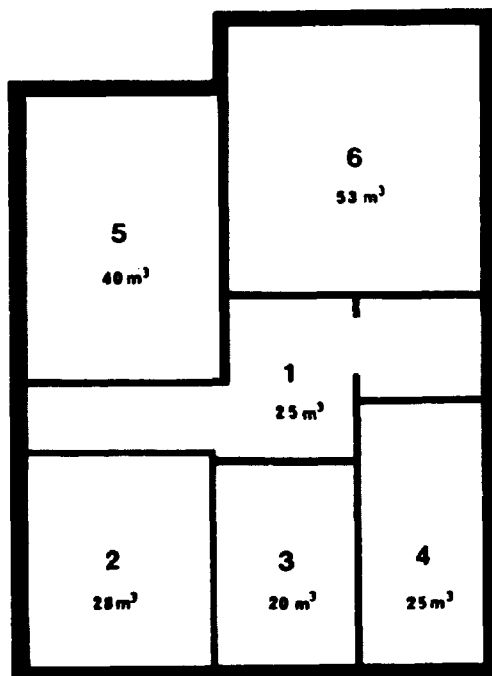
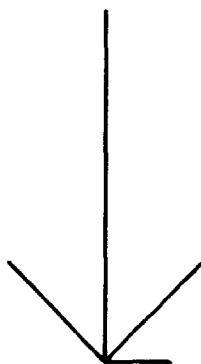
Periode for filtermålinger: 2/2-16/2 81

1	57	15.96	0.30	0.03	0.06	0.33	0.36
2	16	3.66	0.21	0.06	0.18	0.27	0.39
3	32	6.90	0.33	0.12	0.30	0.45	0.63
4	10	2.28	0.18	0.06	0.25	0.24	0.43
5							
6							
7							
8							
9							
10							

BOLIG NR. 11

PARKVEJ 129th TÅSTRUP

VINDRETNINGSFORDELING



- 1. Gang + Toilet
- 2. Sovev.
- 3. Børnev.
- 4. Køkken
- 5. Stue
- 6. Stue

— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 26/1-6/2-81

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	10	0	0	0	0	20	50	20

MIDDEL.VINDHASTIGHED: 6,1 m/s

GENNEMSNI TSUDETEMPERATUR: 2,8°C

Bolig nr. 11

DATE FOR LUFTSKIFTMÅLING: 20/3-81

Målested: Parkvej 129, Tåstrup

Luft-transport-koefficienterne bij

For $i \neq j$ udtrykker b_{ij} den brøkdeler af luften i rum i , der pr. time bliver tilført rum i fra rum j . For $i=j$ udtrykker transport-koefficienten den brøkdeler af luften i rum i , der pr. time udskiftes med omgivelserne.

b ₁₁	b ₂₁	b ₃₁	b ₄₁	b ₅₁	b ₆₁	b ₇₁	b ₈₁	b ₉₁	b _{10,1}
-2.4777	0.5852	0.3031	0.0231	0.7146	0.4250				
b ₁₂	b ₂₂	b ₃₂	b ₄₂	b ₅₂	b ₆₂	b ₇₂	b ₈₂	b ₉₂	b _{10,2}
0	-1.1544	0.0164	0	0	0				
b ₁₃	b ₂₃	b ₃₃	b ₄₃	b ₅₃	b ₆₃	b ₇₃	b ₈₃	b ₉₃	b _{10,3}
0.1015	0	-0.7974	0.0606	0	0				
b ₁₄	b ₂₄	b ₃₄	b ₄₄	b ₅₄	b ₆₄	b ₇₄	b ₈₄	b ₉₄	b _{10,4}
0.3258	0	0	-0.7610	0	0				
b ₁₅	b ₂₅	b ₃₅	b ₄₅	b ₅₅	b ₆₅	b ₇₅	b ₈₅	b ₉₅	b _{10,5}
0	0	0	0	-0.7830	0.3658				
b ₁₆	b ₂₆	b ₃₆	b ₄₆	b ₅₆	b ₆₆	b ₇₆	b ₈₆	b ₉₆	b _{10,6}
0	0	0	0	0.0236	-0.8692				
b ₁₇	b ₂₇	b ₃₇	b ₄₇	b ₅₇	b ₆₇	b ₇₇	b ₈₇	b ₉₇	b _{10,7}
b ₁₈	b ₂₈	b ₃₈	b ₄₈	b ₅₈	b ₆₈	b ₇₈	b ₈₈	b ₉₈	b _{10,8}
b ₁₉	b ₂₉	b ₃₉	b ₄₉	b ₅₉	b ₆₉	b ₇₉	b ₈₉	b ₉₉	b _{10,9}
b _{1,10}	b _{2,10}	b _{3,10}	b _{4,10}	b _{5,10}	b _{6,10}	b _{7,10}	b _{8,10}	b _{9,10}	b _{10,10}

Bolig nr. 11

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Parkvej 129, Tåstrup

Dato: 20/3 81

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{oi}(E)$ for sky- passage	0.55	0.71	0.55	0.46	0.49	0.63				
0.5	$D_{oi}(E)$	0.67	0.84	0.67	0.58	0.61	0.76				
1	$D_{oi}(E)$	0.77	0.91	0.76	0.68	0.71	0.84				
1.5	$D_{oi}(E)$	0.84	0.95	0.82	0.75	0.78	0.89				

Bolig nr. 11

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Parkvej 129³, Tåstrup

Tracer: ⁷Be

Periode for filtermålinger: 26/1-6/2 81

Rum nr.	Volu- men m ³	Gennem- snitlig flow gennem filter m ³ /h	Målt over- førings- faktor m $D_{oi}(E)$	Dato for luftskiftmåling: 20/3 81			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{oi}^{min}(E)$	$\Delta D_{oi}^{max}(E)$	$D_{oi}(E)$ min	$D_{oi}(E)$ max
1	25	5.76	0.30	0.03	0.09	0.33	0.39
2	28	5.04	0.34	0.05	0.06	0.39	0.40
3	20	2.10	0.25	0.03	0.05	0.28	0.30
4	25	1.86	0.29	0.03	0.07	0.32	0.36
5	40	9.18	0.12	0.04	0.08	0.16	0.20
6	53	10.68	0.37	0.09	0.09	0.46	0.46
7							
8							
9							
10							

Tracer: ¹⁰³Ru

Periode for filtermålinger: 26/1-6/2 81

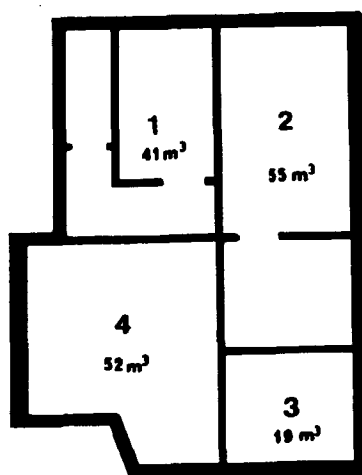
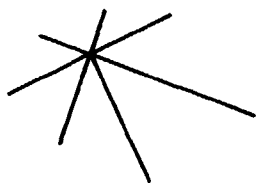
1	25	5.76	0.35	0.03	0.09	0.38	0.44
2	28	5.04	0.26	0.04	0.04	0.30	0.30
3	20	2.10	0.30	0.04	0.06	0.34	0.36
4	25	1.87	0.25	0.02	0.06	0.27	0.31
5	40	9.18	0.14	0.04	0.09	0.18	0.23
6	53	10.68	0.43	0.10	0.10	0.53	0.53
7							
8							
9							
10							

SKODSBORGVEJ 310^{11v}

BOLIG NR. 12

NÆRUM

VINDRETNINGSFORDELING



1. Toilet+
Gang +
Køkken
2. Værelse
3. Sovev.
4. Stue

— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 2/3-16/3-81

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	6,7	13,3	26,6	20,0	13,3	13,3	6,7	0

MIDDELVINDHASTIGHED: 4,9 m/s

GENNEMSNI TSUDET EMPERATUR: 1,6°C

DATE FOR LUFTSKIFTNING: 8/4-81

Luft-transport-koefficienterne bij

b ₁₁	b ₂₁	b ₃₁	b ₄₁	b ₅₁	b ₆₁	b ₇₁	b ₈₁	b ₉₁	b _{10,1}
-1.2109	0.0214	0.0633	0.5693						
b ₁₂	b ₂₂	b ₃₂	b ₄₂	b ₅₂	b ₆₂	b ₇₂	b ₈₂	b ₉₂	b _{10,2}
0.0349	-0.3144	0.1448	0.0869						
b ₁₃	b ₂₃	b ₃₃	b ₄₃	b ₅₃	b ₆₃	b ₇₃	b ₈₃	b ₉₃	b _{10,3}
0	0.0029	-0.9856	0.4008						
b ₁₄	b ₂₄	b ₃₄	b ₄₄	b ₅₄	b ₆₄	b ₇₄	b ₈₄	b ₉₄	b _{10,4}
0.0113	0.0939	0.1031	-0.6727						
b ₁₅	b ₂₅	b ₃₅	b ₄₅	b ₅₅	b ₆₅	b ₇₅	b ₈₅	b ₉₅	b _{10,5}
b ₁₆	b ₂₆	b ₃₆	b ₄₆	b ₅₆	b ₆₆	b ₇₆	b ₈₆	b ₉₆	b _{10,6}
b ₁₇	b ₂₇	b ₃₇	b ₄₇	b ₅₇	b ₆₇	b ₇₇	b ₈₇	b ₉₇	b _{10,7}
b ₁₈	b ₂₈	b ₃₈	b ₄₈	b ₅₈	b ₆₈	b ₇₈	b ₈₈	b ₉₈	b _{10,8}
b ₁₉	b ₂₉	b ₃₉	b ₄₉	b ₅₉	b ₆₉	b ₇₉	b ₈₉	b ₉₉	b _{10,9}
b _{1,10}	b _{2,10}	b _{3,10}	b _{4,10}	b _{5,10}	b _{6,10}	b _{7,10}	b _{8,10}	b _{9,10}	b _{10,10}

Bolig nr. 12

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Skodsborgvej 310, Nærum

Dato: 8/4 81

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{oi}(E)$ for sky- passage	0.49	0.17	0.51	0.44						
0.5	$D_{oi}(E)$	0.60	0.23	0.62	0.55						
1	$D_{oi}(E)$	0.68	0.30	0.70	0.63						
1.5	$D_{oi}(E)$	0.74	0.37	0.77	0.70						

Bolig nr. 12

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Skodsborgvej 310¹, Nærum

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 2/3-16/3 81

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor $D_{oi}(E)$	Dato for luftskiftemåling: 8/4 81			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{oi}^{\min}(E)$	$\Delta D_{oi}^{\max}(E)$	$D_{oi}(E)$ \min	\max
1	41	4.08	0.57	0.05	0.11	0.62	0.68
2	55	6.90	0.33	0.13	0.24	0.46	0.57
3	19	3.12	0.38	0.06	0.12	0.44	0.50
4	52	7.14	0.38	0.08	0.13	0.46	0.51
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Tracer: ^{103}Ru

Periode for filtermålinger: 2/3-16/3 81

1	41	4.08	3.54	0.04	0.13	0.58	0.67
2	55	6.90	0.28	0.11	0.23	0.39	0.51
3	19	3.12	0.46	0.08	0.14	0.54	0.60
4	52	7.14	0.47	0.09	0.15	0.56	0.62
5							
6							
7							
8							
9							
10							

BOLIG NR. 13

HARALDSBOGVEJ 19

VINDRETNINGSFORDELING



HELE HUSET: 191 m²

— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 23/3-5/4-82

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	0	5	26	16	1	3	32	17

MIDDELVINDHASTIGHED: 2,0 m/s

GENNEMSNITSUDETTEMPERATUR: 5,3°C

Bolig nr. 13

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Haraldsborgvej 19, Roskilde

Dato: 30/4 82

[illegible]

Bolig nr. 13

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{O_i}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Haraldsborgvej 19, Roskilde

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 23/3-5/4 82

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor $D_{O_i}(E)$	Dato for luftskiftemåling: 20/4 82			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{O_i}^{\min}(E)$	$\Delta D_{O_i}^{\max}(E)$	$D_{O_i}(E)^{\min}$	$D_{O_i}(E)^{\max}$
1	191	22.20	0.16	0.19	0.19	0.35	0.35
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

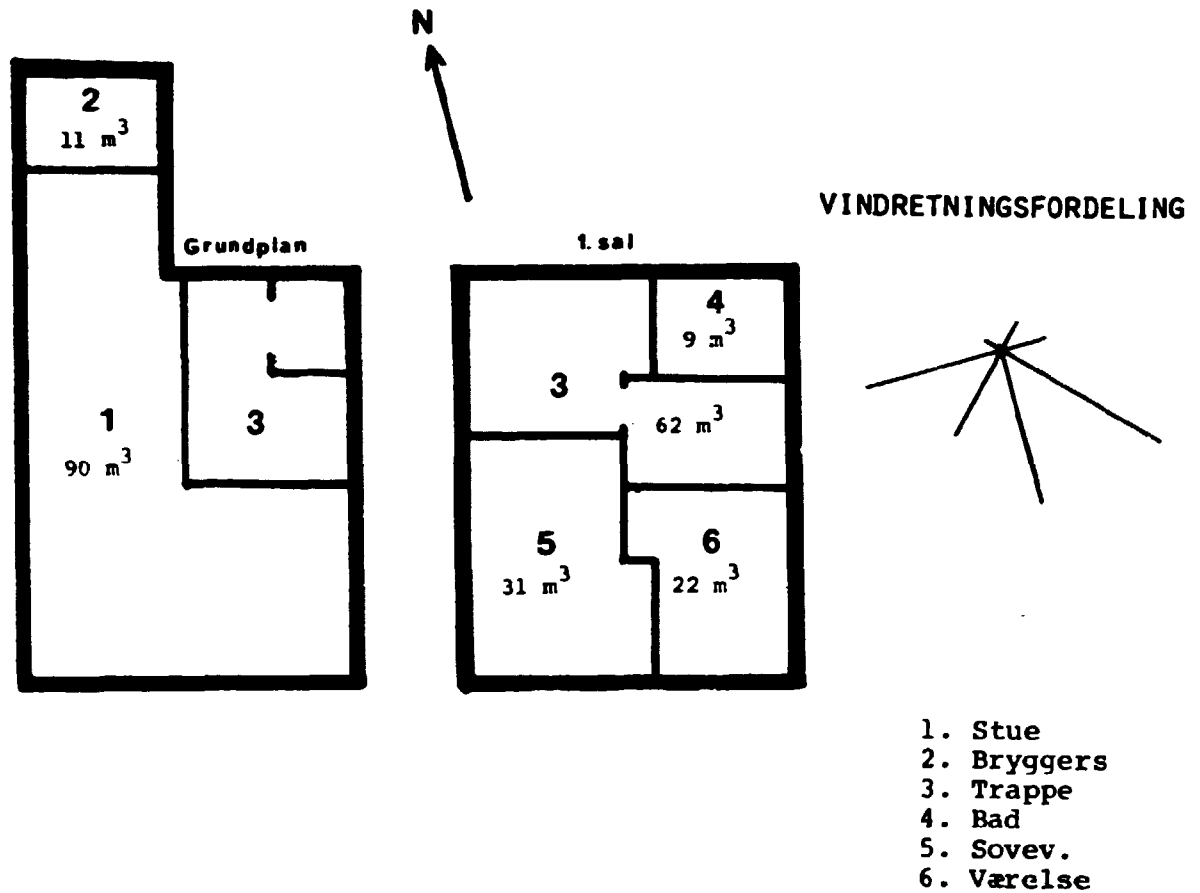
Tracer:

Periode for filtermålinger:

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

BOLIG NR. 14

HEDEMØLLEVÆNGET 1 ROSKILDE



— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 30/10-10/11 82

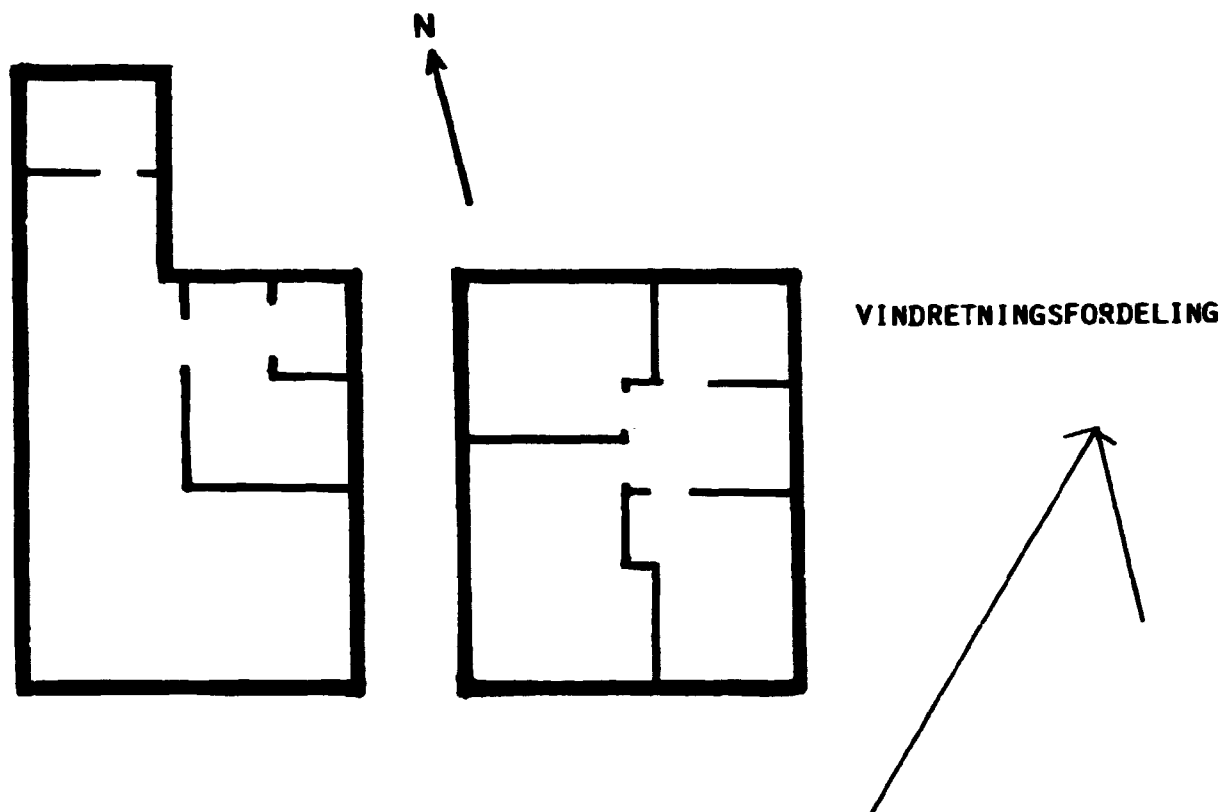
VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	1	5	7	27	22	14	21	3

MIDDELVINDHASTIGHED: 5,8 m/s

GENNEMSNITSUDETTEMPERATUR: 7,3°C

BOLIG NR, 14

HEDEMØLLEVÆNGET 1 ROSKILDE



→ ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN : 10/11-15/11 82

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	0	0	0	3	28	64	5	0

MIDDELVINDHASTIGHED: 6.6 m/s

GENNEMSNITSUDETEMPERATUR: 8.5°C

DATE FOR LUFTSKIFTETÅLING: 10/10-82

Luft-transport-koefficienterne bij

b ₁₁	b ₂₁	b ₃₁	b ₄₁	b ₅₁	b ₆₁	b ₇₁	b ₈₁	b ₉₁	b _{10,1}
-0.1351	0.0417	0	0	0	0				
b ₁₂	b ₂₂	b ₃₂	b ₄₂	b ₅₂	b ₆₂	b ₇₂	b ₈₂	b ₉₂	b _{10,2}
0.0478	-0.5739	0	0	0	0				
b ₁₃	b ₂₃	b ₃₃	b ₄₃	b ₅₃	b ₆₃	b ₇₃	b ₈₃	b ₉₃	b _{10,3}
0	0	-1.1005	0	0.2918	0.2956				
b ₁₄	b ₂₄	b ₃₄	b ₄₄	b ₅₄	b ₆₄	b ₇₄	b ₈₄	b ₉₄	b _{10,4}
0	0	2.2980	-2.5034	0	0				
b ₁₅	b ₂₅	b ₃₅	b ₄₅	b ₅₅	b ₆₅	b ₇₅	b ₈₅	b ₉₅	b _{10,5}
0	0	0	0	-0.4276	0				
b ₁₆	b ₂₆	b ₃₆	b ₄₆	b ₅₆	b ₆₆	b ₇₆	b ₈₆	b ₉₆	b _{10,6}
0	0	0.0137	0	0	-0.4882				
b ₁₇	b ₂₇	b ₃₇	b ₄₇	b ₅₇	b ₆₇	b ₇₇	b ₈₇	b ₉₇	b _{10,7}
b ₁₈	b ₂₈	b ₃₈	b ₄₈	b ₅₈	b ₆₈	b ₇₈	b ₈₈	b ₉₈	b _{10,8}
b ₁₉	b ₂₉	b ₃₉	b ₄₉	b ₅₉	b ₆₉	b ₇₉	b ₈₉	b ₉₉	b _{10,9}
b _{1,10}	b _{2,10}	b _{3,10}	b _{4,10}	b _{5,10}	b _{6,10}	b _{7,10}	b _{8,10}	b _{9,10}	b _{10,10}

Bolig nr. 14

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{O_i}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Hedemøllevej 1, Roskilde

Dato: 19/10 82

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{O_i}(E)$ for sky- passage	0.14	0.48	0.48	0.42	0.44	0.47				
0.5	$D_{O_i}(E)$	0.19	0.60	0.59	0.54	0.55	0.58				
1	$D_{O_i}(E)$	0.24	0.68	0.67	0.63	0.63	0.67				
1.5	$D_{O_i}(E)$	0.28	0.74	0.74	0.71	0.70	0.74				

Bolig nr. 14

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Hedemøllevej 1, Roskilde

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 30/10-10/11 82

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor $D_{oi}(E)$	Dato for luftskiftmåling: 10/10 82			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{oi}^{\min}(E)$	$\Delta D_{oi}^{\max}(E)$	$D_{oi}(E)$ min	max
1	90	5.01	0.2655	0.101	0.138	0.37	0.40
2	11.4	0.62	0.8515	0.081	0.092	0.93	0.94
3	62.4	3.31	0.2496	0.011	0.032	0.26	0.28
4	8.5	0.43	0.4599	0.009	0.039	0.47	0.50
5	30.8	1.62	0.3762	0.046	0.046	0.42	0.42
6	22	1.10	0.3223	0.033	0.034	0.36	0.36
7							
8							
9							
10							

Tracer:

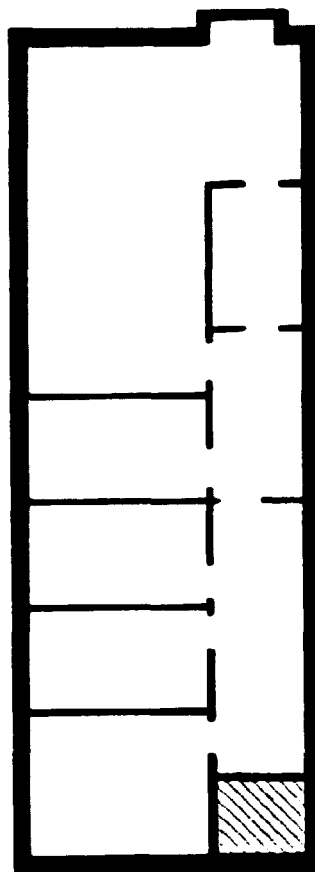
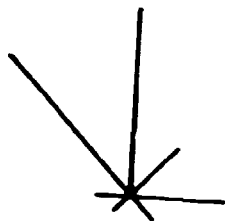
Periode for filtermålinger:

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

RISØ HUSE 19

BOLIG NR. 15

VINDRETNINGSFORDELING



HELE HUSET: 265 m²

— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 28/10-9/11-81

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	14	5	0	3	5	27	36	10

MIDDELVINDHASTIGHED: 4,1 m/s

GENNEMSNITSUDETEMPERATUR: 5,6°C

[illegible]

Bolig nr. 15

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Risøhuse 19, Roskilde

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 28/10-9/11 81

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor $m_{D_{oi}(E)}$	Dato for luftskiftemåling: 29/4 82			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{oi}^{\min}(E)$	$\Delta D_{oi}^{\max}(E)$	$D_{oi}(E)^{\min}$	$D_{oi}(E)^{\max}$
1	265	9.78	0.44	0.09	0.09	0.53	0.53
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Tracer:

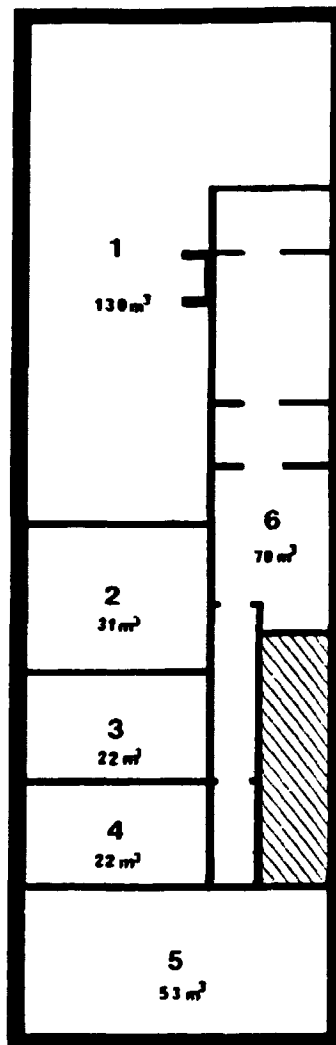
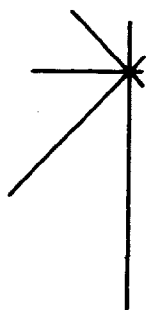
Periode for filtermålinger:

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

RISØHUSE 15

BOLIG NR. 16

VINDRETNINGSFORDELING



1. Stue
2. Arb. værelse
3. Kammer
4. Kammer
5. Sovev.
6. Køkke+ Gang

→ ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 7/9-22/9-81

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	2	3	34	25	14	12	7	3

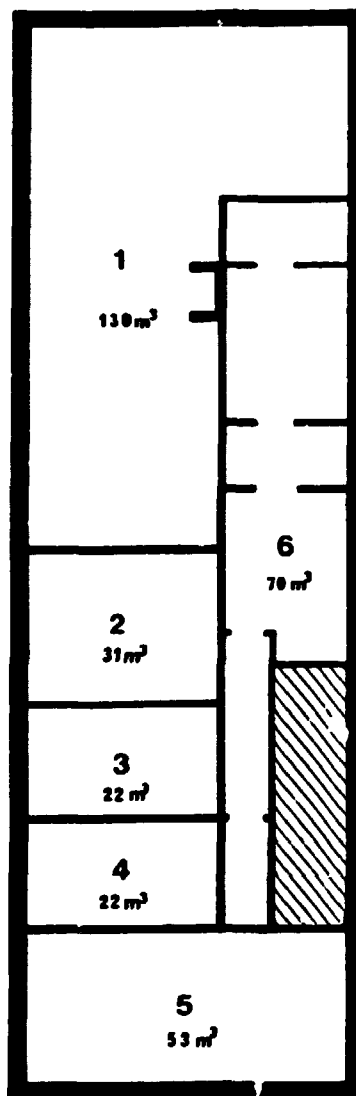
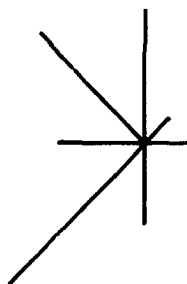
MIDDELVINDHASTIGHED: 3,0 m/s

GENNEMSNITSUDETTEMPERATUR: 13,5°C

RISØHUSE 15

BOLIG NR. 16

VINDRETNINGSFORDELING



1. Stue
2. Arb. værelse
3. Kammer
4. Kammer
5. Sovev.
6. Køkken+ Gang

— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 22/9-4/10-81

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	6	0	11	27	12	21	18	5

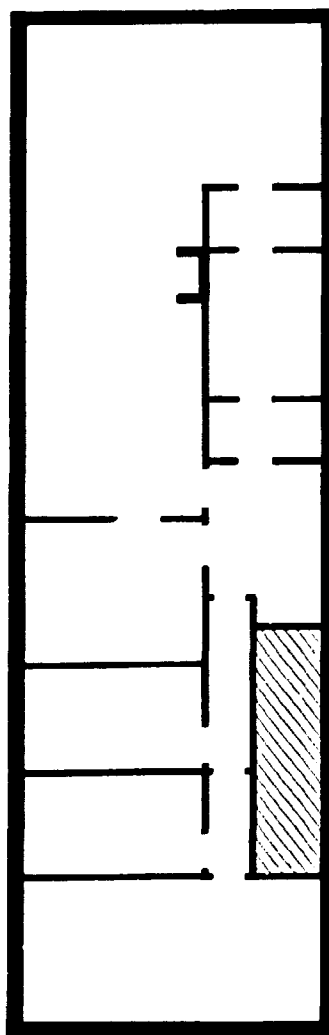
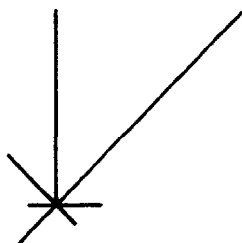
MIDDELVINDHASTIGHED: 3,3 m/s

GENNEMSNITSUDETEMPERATUR: 12,6°C

RISØHUSE 15

BOLIG NR. 16

VINDRETNINGSFORDELING



HELE HUSET 328 m²

→ N

→ ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 21/8-28/8-81

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	7	4	0	8	4	10	28	39

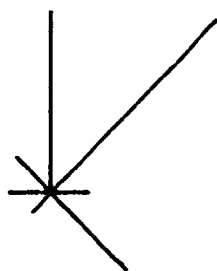
MIDDELVINDHASTIGHED: 3,2 m/s

GENNEMSNITSUDETTEMPERATUR: 14,1°C

RISØHUSE 15

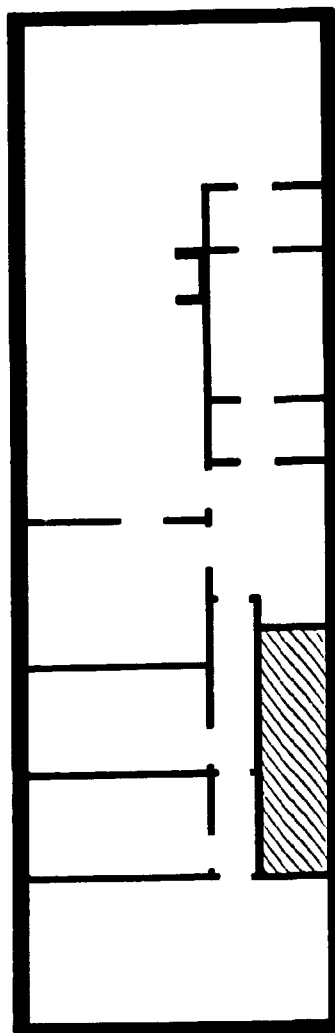
BOLIG NR. 16

VINDRETNINGSFORDELING



HELE HUSET 328 m²

→ N



— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 28/8-5/9-81

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	6	16	0	4	6	7	26	35

MIDDELVINDHASTIGHED: 2,4 m/s

GENNEMSNITSUDETTEMPERATUR: 13,7°C

DATE FOR LUFTSKIFTEMÅLING: 18/10-81

Luft-transport-koefficienterne bij

b ₁₁	b ₂₁	b ₃₁	b ₄₁	b ₅₁	b ₆₁	b ₇₁	b ₈₁	b ₉₁	b _{10,1}
-0.2337	0.0255	0	0	0	0				
b ₁₂	b ₂₂	b ₃₂	b ₄₂	b ₅₂	b ₆₂	b ₇₂	b ₈₂	b ₉₂	b _{10,2}
0.045	-0.2636	0	0	0	0				
b ₁₃	b ₂₃	b ₃₃	b ₄₃	b ₅₃	b ₆₃	b ₇₃	b ₈₃	b ₉₃	b _{10,3}
0	0	-0.1631	0.0027	0	0.0061				
b ₁₄	b ₂₄	b ₃₄	b ₄₄	b ₅₄	b ₆₄	b ₇₄	b ₈₄	b ₉₄	b _{10,4}
0	0	0	-0.1590	0.0094	0				
b ₁₅	b ₂₅	b ₃₅	b ₄₅	b ₅₅	b ₆₅	b ₇₅	b ₈₅	b ₉₅	b _{10,5}
0	0	0	0	-0.0632	0.0039				
b ₁₆	b ₂₆	b ₃₆	b ₄₆	b ₅₆	b ₆₆	b ₇₆	b ₈₆	b ₉₆	b _{10,6}
0.12	0.14	0.05	0	0.01	-0.32				
b ₁₇	b ₂₇	b ₃₇	b ₄₇	b ₅₇	b ₆₇	b ₇₇	b ₈₇	b ₉₇	b _{10,7}
b ₁₈	b ₂₈	b ₃₈	b ₄₈	b ₅₈	b ₆₈	b ₇₈	b ₈₈	b ₉₈	b _{10,8}
b ₁₉	b ₂₉	b ₃₉	b ₄₉	b ₅₉	b ₆₉	b ₇₉	b ₈₉	b ₉₉	b _{10,9}
b _{1,10}	b _{2,10}	b _{3,10}	b _{4,10}	b _{5,10}	b _{6,10}	b _{7,10}	b _{8,10}	b _{9,10}	b _{10,10}

Bolig nr. 16

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Risø huse 15, Roskilde

Dato: 18/10 81

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{oi}(E)$ for sky- passage	0.26	0.27	0.20	0.19	0.08	0.07				
0.5	$D_{oi}(E)$	0.33	0.34	0.26	0.25	0.11	0.10				
1	$D_{oi}(E)$	0.40	0.41	0.31	0.30	0.14	0.14				
1.5	$D_{oi}(E)$	0.46	0.47	0.36	0.35	0.16	0.18				

Bolig nr. 16

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Risøhuse 15, Roskilde

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 7/9-22/9 81

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor $m_{D_{oi}}(E)$	Dato for luftskiftmåling: 18/10 81			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{oi}^{\min}(E)$	$\Delta D_{oi}^{\max}(E)$	$D_{oi}(E)^{\min}$	$D_{oi}(E)^{\max}$
1	130	10.26	0.07	0.02	0.03	0.09	0.10
2	31	3.06	0.09	0.03	0.04	0.12	0.21
3	22	7.38	0.06	0.12	0.13	0.18	0.24
4	22	7.02	0.05	0.10	0.11	0.15	0.20
5	53	6.12	0.05	0.09	0.10	0.14	0.15
6	70	8.16	0.20	0.07	0.12	0.27	0.32
7							
8							
9							
10							

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 22/9-4/10 81

1	130	10.56	0.05	0.02	0.02	0.07	0.07
2	31	4.38	0.10	0.05	0.06	0.15	0.16
3	22	7.08	0.11	0.21	0.22	0.32	0.33
4	22	6.90	0.06	0.12	0.12	0.18	0.18
5	53	6.42	0.07	0.13	0.14	0.20	0.21
6	70	8.34	0.22	0.08	0.16	0.30	0.38
7							
8							
9							
10							

Bolig nr. 16

Tabel C

Overføringsfaktoren, D_{oi} (E), fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Risøhuse 15, Roskilde

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 21/8-28/8 81

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor D_{oi} (E)	Dato for luftskiftemåling: 15/10 81			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				ΔD_{oi}^{\min} (E)	ΔD_{oi}^{\max} (E)	D_{oi}^{\min} (E)	D_{oi}^{\max} (E)
1	328	32.6	0.11	0.22	0.22	0.33	0.33
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Tracer: ^7Be

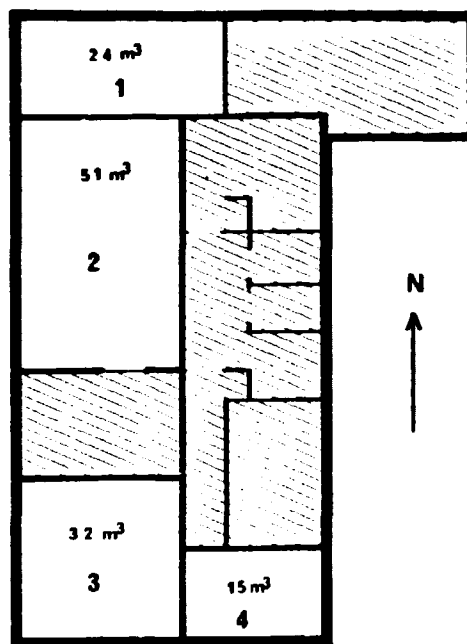
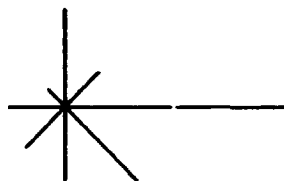
Periode for filtermålinger: 28/8-5/9 81

1	328	29.0	0.08	0.14	0.14	0.22	0.22
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

BOLIG NR. 17

HARALDSBOGVEJ 70

VINDRETNINGSFORDELING



- 1. Køkken
- 2. Stue
- 3. Sovev.
- 4. Værelse

— ~ VINDRETNING I 10% AF MÅLEPERIODEN: 17/1-7/4-80

VINDRETNING	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV
% AF MÅLEPERIODEN	14,1	7,1	32,9	15,3	10,6	8,2	8,2	3,5

MIDDELVINDHASTIGHED: 5,4 m/s

GENNEMSNITSUDETTEMPERATUR: $-0,8^{\circ}\text{C}$

DATE FOR LUFTSKIFTEMÅLING: 30/3-81

Luft-transport-koefficienterne b_{ij}

b ₁₁	b ₂₁	b ₃₁	b ₄₁	b ₅₁	b ₆₁	b ₇₁	b ₈₁	b ₉₁	b _{10,1}
-0.6671	0	0	0	0					
b ₁₂	b ₂₂	b ₃₂	b ₄₂	b ₅₂	b ₆₂	b ₇₂	b ₈₂	b ₉₂	b _{10,2}
0	-0.6584	0.0185	0	0					
b ₁₃	b ₂₃	b ₃₃	b ₄₃	b ₅₃	b ₆₃	b ₇₃	b ₈₃	b ₉₃	b _{10,3}
0	0	-0.6832	0.0180	0.1097					
b ₁₄	b ₂₄	b ₃₄	b ₄₄	b ₅₄	b ₆₄	b ₇₄	b ₈₄	b ₉₄	b _{10,4}
0	0	0.2689	-1.1071	0.6331					
b ₁₅	b ₂₅	b ₃₅	b ₄₅	b ₅₅	b ₆₅	b ₇₅	b ₈₅	b ₉₅	b _{10,5}
0.1020	0.1295	0	0.0241	-1.7498					
b ₁₆	b ₂₆	b ₃₆	b ₄₆	b ₅₆	b ₆₆	b ₇₆	b ₈₆	b ₉₆	b _{10,6}
b ₁₇	b ₂₇	b ₃₇	b ₄₇	b ₅₇	b ₆₇	b ₇₇	b ₈₇	b ₉₇	b _{10,7}
b ₁₈	b ₂₈	b ₃₈	b ₄₈	b ₅₈	b ₆₈	b ₇₈	b ₈₈	b ₉₈	b _{10,8}
b ₁₉	b ₂₉	b ₃₉	b ₄₉	b ₅₉	b ₆₉	b ₇₉	b ₈₉	b ₉₉	b _{10,9}
b _{1,10}	b _{2,10}	b _{3,10}	b _{4,10}	b _{5,10}	b _{6,10}	b _{7,10}	b _{8,10}	b _{9,10}	b _{10,10}

Bolig nr. 5 + 17

Tabel B

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr i for eksponerings-
integralet for en ikke reaktiv gas (skypassagetid 3 timer)

Målested: Haraldsborgvej 50 + 70, Roskilde

Dato: 30/3 81

Den tid efter sky- passage, hvor døre + vinduer åbnes (timer)		rum nr.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	$D_{oi}(E)$ for sky- passage	0.58	0.56	0.54	0.49	0.75					
0.5	$D_{oi}(E)$	0.70	0.68	0.66	0.62	0.86					
1	$D_{oi}(E)$	0.79	0.77	0.75	0.73	0.92					
1.5	$D_{oi}(E)$	0.85	0.83	0.82	0.81	0.95					

Bolig nr. 17

Tabel C

Overføringsfaktoren, $D_{oi}(E)$, fra ude til rum nr. i
for eksponeringsintegralet for en ikke reaktiv aerosol

Målested: Haraldsborgvej 70, Roskilde

Tracer: ^7Be

Periode for filtermålinger: 17/1-7/4 80

Rum nr.	Volu- men m^3	Gennem- snitlig flow gennem filter m^3/h	Målt over- førings- faktor $m_{D_{oi}}(E)$	Dato for luftskiftemåling: 30/3 81			
				Korrektions- faktor		Korrigeret over- føringsfaktor	
				$\Delta D_{oi}^{\min}(E)$	$\Delta D_{oi}^{\max}(E)$	$D_{oi}^{\min}(E)$	$D_{oi}^{\max}(E)$
1	15	7.20	0.11	0.07	0.08	0.18	0.19
2	32	10.68	0.13	0.06	0.07	0.19	0.20
3	51	35.28	0.08	0.07	0.09	0.16	0.17
4	24	7.98	0.24	0.07	0.10	0.31	0.34
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Tracer:

Periode for filtermålinger:

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

2484

Riss - M -

Title and author(s)

THE PROTECTIVE EFFECT OF HOUSES ON AIR-
POLLUTION EPISODES

J. Roed, H.L. Gjørup, and H. Prip

Date October 1985

Department or group

Health Physics

Group's own registration
number(s)

pages + tables + illustrations

Abstract The time-integrated in- and outdoor air pollution concentration will differ during a pollution episode. The ratio of the former to the latter has been found for 17 Danish dwellings. In 15 of them a separate ratio was found for each room with the inner doors closed. In the last 2 dwellings the inner doors were left open, and for all 17 dwellings the outer doors and windows were kept shut during the measurements.

It has been shown to be convenient to classify the pollutants into three catagories:

1. non-reactive gases (e.g. nobel gases)
2. non-reactive particles
3. reactive matter (e.g. elementary iodine)

The indoor/outdoor ratio described above has been found for non-reactive gases by using SF₆ as a tracer.

For non-reactive particles the relationship has been found by means of ⁷Be-marked particles, created by spallation in the atmosphere, and ¹⁰³Ru-marked particles originating from Chinese nuclear bomb tests in the atmosphere.

.. / 2

Available on request from Riss Library, Riss National Laboratory (Riss Bibliotek), Forsøgsanlæg Riss), DK-4000 Roskilde, Denmark
Telephone: (03) 37 12 12, ext. 2262. Telex: 43116

Copies to

In the present investigation the relationship for reactive matter has not been measured. However, from the relevant literature and a comparison of the deposition and filtering mechanism for non-reactive particles and reactive matter a maximum value for the indoor/outdoor relationship for reactive matter has been found.

The relation between the outdoor/indoor ratio and the air exchange velocity has also been investigated and an equation describing it has been established.

The effect of operating a vacuum cleaner during the pollution episode and airing shortly afterward was also investigated. It is found that staying indoors in a normal living-room with closed windows and doors will reduce the aerosol inhalation dose by a factor of about 3. Operating a vacuum cleaner while staying indoors will increase this reduction factor to about 9. Airing one hour after the passage of a plume of three hours duration will raise these two factors to 6 and 12, respectively. The only way to obtain a reduction in inhalation dose from non-depositing gases is by controlled airing. Under the above-mentioned condition, airing will reduce the inhalation dose for non-depositing gases by a factor of about 2.